

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

Elektrochemická koroze bludnými proudy
Electrochemical corrosion by stray currents

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Gaida**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Elektrochemická koroze bludnými proudy**
Electrochemical corrosion by stray currents

Zásady pro vypracování:

1. Zemní proudová pole
 2. Ochrany úložných zařízení před elektrochemickou korozí
 3. Měření na vybraném objektu
 4. Vyhodnocení měření
-
1. Earth current field
 2. Protection of Subterranean Construction from Electrochemical Corrosion
 3. Measurement on a Selected Object
 4. Evaluation of the Measurement

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Paleček J., Vybrané kapitoly z problematiky elektrotechniky v dopravním inženýrství, VŠB-TU Ostrava 1996
[2] Koroze úložných zařízení 95, sborník Košice 28.-29.6.1995
[3] ČSN EN 50122-2 Drážní zařízení-Pevná trakční zařízení – Část2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami, platná od 2001

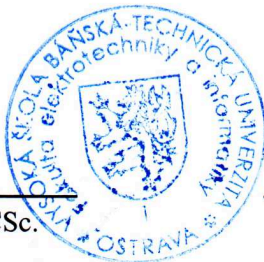
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

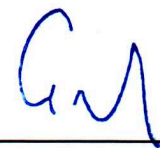
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Josef Paleček, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne:

.....

Aleš Gaida

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu prof. Ing. Josefu Palečkovi, CSc. za cenné rady a odbornou pomoc při řešení diplomové práce, jakož i při výuce předmětu Energetika v dopravě. Také děkuji panu Ing. Miroslavu Šimečkovi za ukázkou měření v terénu, za poskytnutí naměřených hodnot a za odborné rady a informace z praxe. Svým rodičům děkuji za finanční, materiální a morální podporu po celou dobu mých studií. Své přítelkyni pak děkuji především za morální podporu v posledním roce studia a při psaní této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá elektrochemickou korozí úložných zařízení a způsoby protikorozní ochrany. Je zde popsán princip elektrochemické koroze. Ta je u úložných zařízení způsobena převážně stejnosměrnými zemními proudy, které mohou být jak přirozeného původu, tak uměle vytvořené lidskou činností což jsou tzv. bludné proudy. Popisují zde vznik těchto proudových polí a způsoby ochrany proti korozi těmito poli způsobené. Okrajově je zmíněna i elektrochemická koroze střídavými bludnými proudy. Praktická část je věnována měření potenciálu na vybraných potrubích s katodickou ochranou.

Klíčová slova

Elektrochemická koroze, zemní proudová pole, telurické proudy, bludné proudy, pasivní protikorozní ochrana, aktivní protikorozní ochrana, katodická ochrana, obětovaná anoda, elektrická drenáž, Korodat.

Abstract

This master thesis deals with electrochemical corrosion of buried structures and methods of protection against corrosion. In this thesis there is described a mechanism of electrochemical corrosion. This kind of corrosion of buried structures is mainly caused by the direct earth currents that can be of natural or artificial origin that are called stray currents. There is also described the origin of earth current fields and methods of protection against electrochemical corrosion, which is caused by the currents fields. Electrochemical corrosion by alternating stray currents is mentioned in passing. The practical part is devoted to the measurement of potential on selected buried constructions with cathodic protection.

Keywords

Electrochemical corrosion, earth current fields, telluric currents, stray currents, passive corrosion protection, active corrosion protection, cathodic protection, sacrificial anode, electrical drainage, Korodat.

OBSAH:

1	ÚVOD	9
2	MECHANISMUS KOROZE	11
2.1	ELEKTROCHEMICKÁ KOROZE	11
2.1.1	Druhy korozních článků	13
2.1.1.1	Galvanické články	13
2.1.1.2	Elektrolytický článek.....	16
3	ZEMNÍ PROUDOVÁ POLE	17
3.1	PŘIROZENÁ ZEMNÍ PROUDOVÁ POLE.....	17
3.1.1	Elektrochemická aktivita hornin	17
3.1.2	Telurické proudy	18
3.2	UMĚLÁ STEJNOSMĚRNÁ ZEMNÍ PROUDOVÁ POLE.....	19
3.2.1	Vznik a rozložení potencionálních pásem na úložných zařízeních.....	21
3.2.2	Vliv polarity trakčního vedení na rozložení potencionálních pásem	22
3.2.2.1	Kladná polarita troleje, záporná polarita koleje	22
3.2.2.2	Záporná polarita troleje, kladná polarita koleje	22
3.3	UMĚLÁ STŘÍDAVÁ ZEMNÍ PROUDOVÁ POLE	25
4	METODY PROTIKOROZNÍ OCHRANY	27
4.1	OMEZENÍ VZNIKU BLUDNÝCH PROUDŮ	27
4.1.1	Zvýšení přechodového odporu mezi kolejí a zemí.....	27
4.1.1.1	Používání průrazek.....	28
4.1.1.2	Zajištění předepsané hodnoty izolačního odporu zpětného vedení.....	28
4.1.2	Zvýšení elektrické vodivosti kolejí vedoucích trakční proud	29
4.1.3	Zmenšení vzdálenosti mezi místy připojení zpětného vedení.....	29
4.1.4	Volba způsobu napájení trakční sítě.....	29
4.1.5	Používání rekuperačního brždění	29
4.2	OMEZENÍ ÚČINKŮ BLUDNÝCH PROUDŮ	30
4.2.1	Pasivní protikorozní ochrana.....	30
4.2.1.1	Použití korozně odolných materiálů.....	30
4.2.1.2	Izolační povlaky kovových úložných zařízení	31
4.2.1.3	Izolační spojky	34

4.2.2	Aktivní protikorozi ochrana	35
4.2.2.1	Katodická ochrana.....	35
4.2.2.2	Kritéria katodické ochrany	37
4.2.2.3	Ochrana obětovanou anodou	38
4.2.2.4	Ochrana vnějším zdrojem proudu	40
4.2.2.5	Interference při katodické ochraně	44
4.2.2.6	Ochrana proti bludným a interferenčním proudům.....	45
4.2.2.7	Problematika drenáží na nových koridorových tratích	47
5	MĚŘENÍ NA VYBRANÉM OBJEKTU	49
5.1	POUŽITÉ VYBAVENÍ.....	49
5.1.1	Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO ₄	49
5.1.2	Systém Korodat	50
5.2	POPIS MĚŘENÉHO OBJEKTU.....	52
5.2.1	Podmínky při měření	52
5.2.2	Seznam a rozmístění měřicích bodů.....	52
5.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY	53
5.4	GRAFY.....	54
5.4.1	Měřicí bod 1	54
5.4.2	Měřicí bod 2	55
5.4.3	Měřicí bod 3	56
5.4.4	Měřicí bod 4	57
5.5	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	58
6	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM LITERATURY:.....	61

1 Úvod

Historie elektrické trakce začíná v našich zemích rokem 1891, kdy František Křižík předváděl v Praze na Letné první městskou kolejovou dráhu na trati dlouhé 800 m. V Brně byla zahájena elektrizovaná tramvajová doprava, napájená stejnosměrným proudem, v roce 1900. V železniční dopravě začala elektrizace rokem 1902, kdy byla elektrizována trať Tábor – Bechyně o délce 24 km. Elektrický provoz na Pražských nádražích začal v roce 1927. O skutečné elektrizaci můžeme ale hovořit až v padesátých letech kdy se začal uskutečňovat plán elektrizace tehdejších ČSD stejnosměrnou soustavou 3 kV a od roku 1961 také střídavou jednofázovou soustavou 25 kV, 50 Hz [Badouček, 1983, s. 164; Janotka a kol., 1987, s. 15; Viktorin, 1971, s. 8].

Elektrická trakce znamená úsporu paliva, zvyšuje se cestovní rychlost vlaků, zvětšuje se dopravní výkonnost a je umožněno lepší využití hnacích vozidel. Nese s sebou ovšem i některé negativní účinky, jako jsou vysoké investiční náklady, závislost na dodávkách elektrické energie, způsobuje nesymetrii napájecí soustavy a také elektrochemickou korozi, způsobenou bludnými proudy.

Zanedlouho od zahájení provozu stejnosměrně elektrizovaných městských drah, a později také tratí ČSD, se začaly objevovat první korozní poruchy na litinových plynovodech a vodovodech. Zavádění ocelových materiálů s nekvalitní izolací a zvyšování provozu kolejové dopravy způsobovalo později stále více a více korozních poruch. Právě elektrochemickou korozi kovových zařízení uložených v zemi a způsoby protikorozní ochrany se zabývá tato diplomová práce.

Korozní poškození kovových úložných zařízení způsobuje nejen materiální škody, ale může ohrozit také zdraví a životy lidí, např. při požáru nebo výbuchu plynu způsobeném korozním poškozením plynovodu. Proto je protikorozní ochrana v zemi uložených kovových zařízení velmi důležitá.

K pochopení principů protikorozní ochrany je nutné znát fyzikální princip elektrochemické koroze, který je podrobně rozepsán v kapitole 2. Následuje kapitola 3 o vzniku přirozených a umělých zemních proudových polí, které jsou hlavní příčinou koroze úložných zařízení. Čtvrtá, nejrozsáhlejší, kapitola se zabývá vlastní ochranou proti korozi a je rozdělena do dvou částí. Potlačení vzniku umělých proudových polí z elektrické trakce je pro snižování koroze velmi zásadní a je popsáno v kapitole 4.1. V kapitole 4.2 jsou pak uvedeny metody protikorozní ochrany proti bludným proudům, které nebylo možné potlačit. Jedná se jak o pasivní ochranu izolacemi proti půdnímu prostředí, tak i o aktivní katodickou elektrochemickou ochranu. Princip katodické ochrany je ve své podstatě velmi jednoduchý, ovšem problémy nastávají při její praktické aplikaci v terénu. Mohou vznikat interference a proud z katodické ochrany se tak může paradoxně stát zdrojem další elektrochemické koroze. O tom pojednávají další podkapitoly.

V poslední kapitole 5 je pak uvedeno praktické měření v terénu, které vede ke zjištění, zda jsou konkrétní potrubí ohrožena elektrochemickou korozí. Bez těchto měření by nebylo možné aktivní ochranu efektivně používat, protože by neexistovala možnost kontrolovat její účinnost. V závěru shrnuji získané

poznatky z provedeného měření a navrhuji řešení některých nedostatků, které byly shledány na měřeném objektu.

Při zpracování praktické části diplomové práce jsem se opíral o výsledky měření potenciálu provedeného dne 16. 11. 2011 v Praze – Uhřetěvsi. Podklady pro tvorbu teoretické části mi poskytla dostupná odborná literatura a normy zabývající se tematikou elektrochemické koroze a katodické ochrany.

2 Mechanismus koroze

Rozrušování kovů (koroze) působením okolního prostředí je přirozeným jevem. Základní příčinou korozního procesu je snaha přírody zvýšit neuspořádanost soustavy (dosáhnout co nejvyšší entropie). Proto se kovy snaží přejít ve stav, v kterém se nacházejí v přírodě, tj. ve své sloučeniny, jako jsou oxidy, sírany, uhličitany apod. Technicky čisté kovy získáváme z rud různými hutnickými metodami. Těmito redukčními pochody se porušuje původní rovnovážný stav, kovy se převádějí do stavu vhodného k používání v technice, ale současně do stavu méně stabilního. Při styku s okolním prostředím mají čisté kovy snahu opět obnovit svůj rovnovážný stav a vytvoří stabilnější sloučeniny, které jsou však technicky nepoužitelné [Polák, Veleta, 2002, s. 21; Viktorin, 1971, s. 24]. Z mnoha druhů koroze se v této diplomové práci budu zabývat pouze elektrochemickou korozí, která je typická u úložných zařízeních ukládaných do půdy nebo do vody.

2.1 Elektrochemická koroze

Tento proces probíhá za přítomnosti elektrického proudu. Proud je buď do reakce přiváděn z vnějšího zdroje, nebo se při této reakci vyrábí. Elektrochemická koroze může probíhat pouze tehdy, pokud je kov v kontaktu s elektrolytem. Předpokladem pro její vznik je elektrolytická disociace a vznik kationtů a aniontů ve vodných roztocích. Soli, kyseliny a zásady jsou ve vodných roztocích disociovány v kationty a anionty. Ionizace nastává také v taveninách. [Bouda a kol., 1993, s. 103-104]. Korozní reakce je elektrická v tom smyslu, že v hraniční vrstvě vzniká elektrický potenciální gradient a přenos elektronů se děje podle Faradayova zákona o elektrolýze (tento vztah platí pro stejnosměrný proud):

$$m = A \cdot Q = A \cdot I \cdot t \quad (\text{kg; kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}; \text{C; kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}; \text{A; s}) \quad (1)$$

kde: m – množství vyloučeného kovu,

Q – elektrický náboj iontu,

A – elektrochemický ekvivalent kovu,

I – proud elektrolytického jevu,

t – doba trvání elektrolytického jevu [Jansa, Peleňský, 1982, s. 95; Paleček, 2006, s. 41].

Každá korozní reakce zahrnuje dvě dílčí reakce – anodickou a katodickou, protože jde o reakci oxidačně redukční. Anodická reakce odpovídá oxidaci kovu (na anodě se korodující kov rozpouští) a touto reakcí se zde hromadí elektrony, které samy nemohou vstoupit do elektrolytu a udílejí anodě zápornější potenciál. Katodická reakce odpovídá redukci některé oxidující složky obsažené v roztoku. Tato reakce se nazývá depolarizační. Obě reakce jsou na sebe vázány.

Vzájemná závislost obou reakcí je dána požadavkem na zachování elektroneutrality. Jestliže anodická reakce je zdrojem elektronů, pak katodická reakce musí totéž množství elektronů spotřebovávat, protože by jinak docházelo k hromadění náboje na elektrodě a ten by posunul její potenciál tak, že by

došlo postupně k zastavení reakce. Pokud však připojíme elektrodu na vnější zdroj napětí, můžeme dosáhnout toho, že bude probíhat pouze jedna z dílčích reakcí, zatímco druhá bude nahrazena dodáváním nebo odběrem elektrických nábojů. V korozním článku je elektrický proud uzavřen jednak kovovou elektrodou, kterou prochází elektrický proud, jednak elektrolytem, jímž jsou přiváděny ionty s elektrickým nábojem. Součet dílčích proudů všech reakcí je roven nule [Polák, Veleta, 2002, s. 22; Bouda a kol., 1993, s. 103]:

$$\sum I_A + \sum I_K = 0 \quad (2)$$

kde: I_A – proud vystupující z anody
 I_K – proud vstupující do katody

Elektrochemický ekvivalent A je hmotnost látky, jež se vyloučí, rozpustí, nebo jinak přemění průchodem náboje 1 C [Polák, Veleta, 2002, s. 24]. Rozpouští se (oxiduje, tedy předává elektrony a přechází do roztoku) kov méně ušlechtilý, zatímco kov ušlechtilejší elektrony přijímá (redukuje se). To, který z kovů je ušlechtilejší je dáno jeho standardním potenciálem.

Standardní potenciál charakterizuje elektrochemickou ušlechtilost kovů, tj. snahu přecházet do iontového (oxidovaného) stavu a uvolňovat elektrony. Ušlechtilejší kovy mají tuto snahu menší než kovy méně ušlechtilé. Podle elektrochemického potenciálu lze seřadit kovy do tabulky (viz tabulka 1) kde na jedné straně jsou kovy ušlechtilé (Au, Pt) a na druhé straně kovy neušlechtilé (Zn, Mg). Potenciály kovů nemají absolutní význam a mohou se porovnávat pouze proti sobě, proto musela být stanovena nula na stupnici potenciálů. Za nulový byl přijat potenciál standardní vodíkové elektrody, který leží přibližně uprostřed této řady. Za ušlechtilé se pokládají kovy, jejichž standardní potenciál je kladnější než smluvní nulový potenciál vodíkové elektrody. Neušlechtilé kovy jsou kovy se zápornějším potenciálem [Bouda a kol., 1993, s. 104; Novák, 2002].

Využitelnost ušlechtilosti k odhadu korozní odolnosti daného kovu je však z celé řady důvodů velmi omezena, a také odporuje zkušenosti, podle které mezi velmi korozně odolné kovy patří i neušlechtilé kovy. Řada ušlechtilosti kovů vychází z podmínky rovnováhy s ionty příslušného kovu v roztoku, ale korozní prostředí obsahuje těchto iontů obvykle jen velmi málo a rovnováha je dosahována jen velmi zřídka. Řada sestavená podle ušlechtilosti kovů také nepočítá se vznikem tuhých korozních produktů. Usuzuje-li se tedy na anodu v korozním článku tvořeném dvěma kovy z jejich standardních potenciálů, může to vést k nesprávným závěrům. Např. titan a tantal jsou velmi neušlechtilé kovy ale díky velmi stabilním oxidům jsou pasivní téměř v celé oblasti stability vody [Novák, 2002; Polák, Veleta, 2002, s. 26-27].

Tab. 1. Elektrochemické vlastnosti některých důležitých kovů [Polák, Veleta, 2002, s. 27]

Prvek	Elektrochemický ekvivalent A (kg·A ⁻¹ ·rok ⁻¹)	Standardní elektrodový potenciál při 25°C	
		Reakce	(V)
Hořčík Mg	3,98	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e$	-2,37
Hliník Al	2,94	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e$	-1,66
Titan Ti	–	–	–
Niob Nb	3,94	$Nb \rightarrow Nb^{3+} + 3e$	-1,10
Zinek Zn	10,68	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$	-0,76
Chrom Cr	8,50	$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e$	-0,74
Železo Fe	9,12	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e$	-0,44
Tantal Ta	–	–	–
Cín Sn	–	$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e$	-0,136
Olovo Pb	33,80	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e$	-0,126
Měď Cu	10,38	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e$	+0,337
Stříbro Ag	35,26	$Ag \rightarrow Ag^{+} + e$	+0,799
Platina Pt	15,91	$Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e$	+1,200
Zlato Au	21,36	$Au \rightarrow Au^{+} + e$	+1,680
Uhlík C	–	–	–

2.1.1 Druhy korozních článků

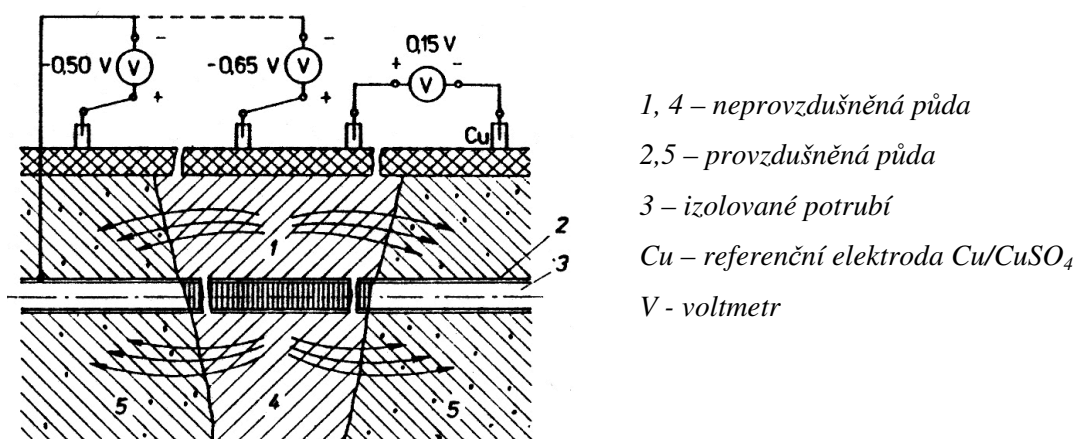
2.1.1.1 Galvanické články

Galvanické články můžeme rozdělit na mikročlánky a makročlánky. U mikročlánků jsou vzdálenosti mezi elektrodami nepatrné nebo jedna nebo obě elektrody jsou tak malé, že není možné změřit proud tohoto galvanického článku. Je-li plocha elektrod značná nebo jsou elektrody od sebe vzdáleny tak, že lze změřit proud tohoto článku a dá se zjistit anoda a katoda, pak takový článek nazýváme makročlánkem. Pro kovová úložná zařízení jsou nebezpečné jak mikročlánky tak makročlánky vytvořené nestejnorodostí vlastního kovu úložných zařízení a okolního elektrolytického prostředí (půdy) [Jeršov, 1956, s. 5].

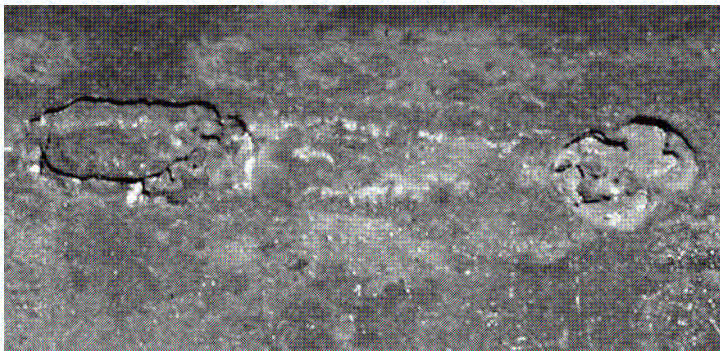
Dále lze galvanické články rozdělit na články vyvolané heterogenitou materiálu a na články vyvolané heterogenitou podmínek (elektrolytu). V prvním případě se může jednat o tzv. bimetalický článek, kdy jsou galvanicky spojeny alespoň dva různé elektricky vodivé materiály v tomtéž elektrolytu. Zde je urychlení koroze způsobeno kontaktem s ušlechtlejším kovem nebo i nekovovým vodičem (nejčastěji uhlíkem) v elektrolytu. Nejintenzivněji probíhá bimetalická koroze v těsné blízkosti spojení. Směrem od místa kontaktu na povrchu se rychlost anodické reakce snižuje díky elektrickému odporu

prostředí, který roste se vzdáleností. Malá vodivost elektrolytu omezuje často zvýšenou korozi na oblast blízkou místu kontaktu. Příkladem bimetalické koroze může být koroze ocelových nýtů v měděném plechu, nebo u potrubí uloženého v zemi může vzniknout bimetalický článek spojením starého a nového potrubí, konstrukcí potrubí z různých materiálů, heterogenitu může způsobit také nerovnoměrnost rozložení korozních zplodin na povrchu materiálu apod. Lokální články mohou vzniknout také např. v oceli mezi feritovými a cementitovými krystaly, jiné články vznikají při ukládání oxidů na povrchu kovu, pokud je oxid schopen vést elektrický proud (protože oxid je ušlechtilější než kov, představuje katodu). Také může vzniknout rozdíl potenciálů mezi mechanicky napjatou a nenapjatou částí téhož kovu atd. [Bouda a kol., 1963 s. 104; Novák, 2005, s. 77 a 79; Polák, 1992, s. 42; Viktorin, 1971, s. 26-27].

V druhém případě, kdy je článek vyvolaný heterogenitou podmínek se jedná o článek kde obě elektrody jsou z téhož materiálu avšak nacházejí se v elektrolytu který nemá v celém objemu stejné vlastnosti (je heterogenní). Koncentrační článek tedy vzniká v případě, kdy je kovový materiál v elektrolytu s gradientem koncentrací složek, které rozhodují o korozní agresivitě. Nejčastější jsou články v důsledku různého přístupu vzdušného kyslíku k povrchu oceli, který je v kontaktu s neutrálními vodnými roztoky. Makročlánky tohoto typu vznikají zejména na liniových kovových konstrukcích, které procházejí půdami s rozdílnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi. Příklad takového korozního makročlánku a ukázkou působení koroze v důsledku působení tohoto článku znázorňují obrázky 1 a 2. Za podmínek omezené konvekce (míchání) vyvolává primární heterogenita v přístupu kyslíku k povrchu kovu u koncentračního článku sekundární změny ve složení korozního prostředí. V blízkosti neovzdušněného anodického povrchu klesá hydrolyzou hodnota pH, elektrolyt se okyseluje a jeho agresivita pro železo se zvětšuje. V blízkosti katodického povrchu, který je lépe provzdušněn, se roztok alkalizuje a jeho agresivita klesá. Tyto sekundární změny ve složení roztoku tedy vedou k zesílení anodického korozního děje a k pasivaci povrchu katodického [Novák, 2005, s.78-79; Polák, Veleta, 2002, s. 32].

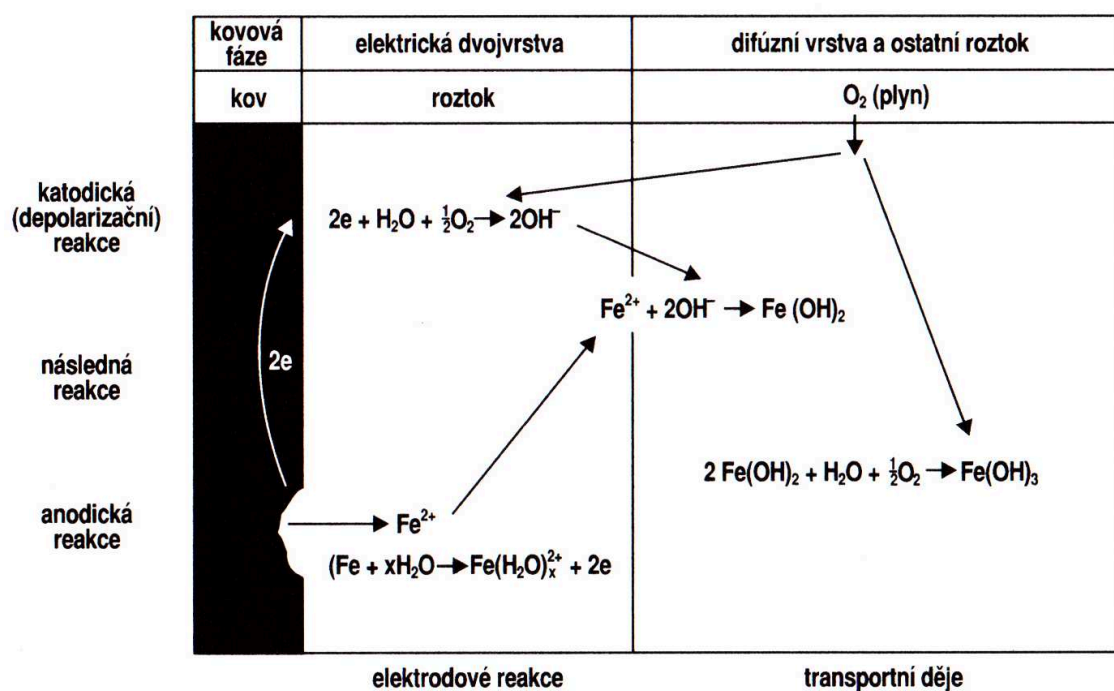


Obr. 1. Korozní článek s diferenciální aerací při průchodu potrubí z provzdušněné do neprovzdušněné půdy [Polák, Veleta, 2002, s. 33]



Obr. 2. Koroze v důsledku koncentračního članku s různým provzdušněním (diferenciální aerací)
[Novák, 2005, s. 79]

Jednoduchý článek se vytvoří ponořením kovu do elektrolytu což znázorňuje obrázek 3. Malé změny potenciálů na povrchu kovu jsou způsobeny jednak změnami fyzikálních a chemických podmínek na povrchu kovu, jednak změnami v elektrolytu. Přímě na povrchu kovu probíhají dvě elektrodové reakce – anodická a katodická. V difúzní vrstvě a dále od povrchu probíhají transportní děje difúzí a migrací iontů. Transportní děje zajišťují přísun reagujících látek z roztoku a odvod reakčních produktů od povrchu kovu, čímž umožňují trvalý průběh korozního děje. Zároveň zde mohou probíhat následné reakce, jimiž se dále mění primární produkty [Polák, Veleta, 2002, s.23-24].



Obr. 3. Průběh koroze železa [Polák, Veleta, 2002, s. 23]

2.1.1.2 Elektrolytický člunek

Člunek elektrolytický je na rozdíl od galvanického, samovolně fungujícího člunku, vynucen průchodem elektrického proudu z vnějšího zdroje. Tento typ člunku vzniká v případě, že na kovovém materiálu, který je v kontaktu s tímž elektrolytem, dochází průchodem stejnosměrného proudu s vnějšího zdroje ke gradientu potenciálu. Tento druh člunku se týká koroze cizími (bludnými) nebo interferenčními proudy a je podrobněji popsán v kapitole 3.2 a 4.2.2.5 této diplomové práce [Novák, 2005, s. 77].

3 Zemní proudová pole

Zemní proudová pole způsobují elektrochemickou korozi v zemi uložených kovových zařízení (např. kovové potrubí, úložné kabely s ocelovým nebo olověným pláštěm, kovové nádrže, ocelová výztuž betonu apod.). Existují různé příčiny vzniku těchto proudových polí. Mohou vzniknout jednak přirozenou cestou – výskyt těchto polí je nezávislý na činnosti člověka a dále vznikají umělá proudová pole, které mají svůj původ v činnosti člověka [Paleček, 2006, s. 40; Koudelka, 2003, s. 2].

3.1 Přirozená zemní proudová pole

3.1.1 Elektrochemická aktivita hornin

Elektrochemickou aktivitou hornin nazýváme schopnost hornin vyvolávat ve svém okolí za určitých podmínek elektrické pole. Tento samovolný vznik může mít několik příčin.

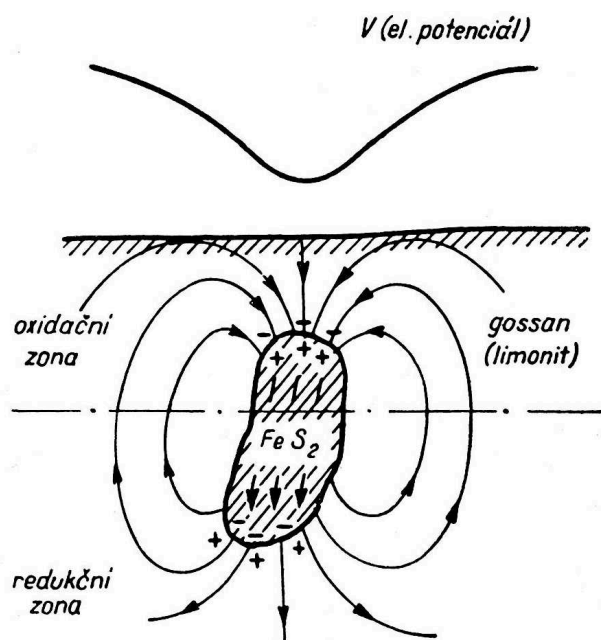
Na styku dvou propustných hornin, které obsahují roztoky s různou koncentrací minerálních látek dochází k difúzi iontů. Protože záporné ionty jsou rychlejší než kladné, nastává v jedné vrstvě přebytek záporných iontů a v druhé kladných. Tím vznikají rozdíly potenciálů, které dosahují několika desítek mV. Jinými příčinami může být absorpce určitých iontů některými horninami nebo filtrace mineralizovaných roztoků. Např. na kontaktu jílu s porézními horninami obsahující roztok NaCl, absorbují jíly záporné ionty Cl^- a v druhé hornině vzniká přebytek kladných iontů Na^+ . Při filtraci mineralizovaných roztoků porézními horninami jsou obvykle záporné ionty zachycovány u stěn kapilár a kladné zatím volně pronikají s výplachem.

Další příčina elektrochemické aktivity hornin je samovolné vytváření galvanických článků. Na hranicích dvou fázových systémů, pevného vodiče (kovu) a elektrolytu vzniká elektrická dvojvrstva, která se projevuje skokem elektrického potenciálu. Jeho velikost závisí na složení vodiče a elektrolytu a na intenzitě elektrochemických pochodů které probíhají na jejich styku. Navenek se může tento potenciální rozdíl projevit jen tehdy, stýkají-li se se stejným elektrolytem dva různé vodiče, anebo zasahuje-li stejný vodič do dvou různých elektrolytů. Na každém styku je totiž skok potenciálu jiný a navenek se uplatňuje jejich potenciální rozdíl, který může být zdrojem elektrického proudu.

Nejsilněji se spontánní polarizace projevuje nad ložisky sulfidických rud. Podmínkou je aby jedna část ložiska byla v oxidační zóně a druhá část v redukční zóně. Jak je vidět z obrázku 4, působením kyslíku a vody v oxidační zóně vzniká štěpení na kladné a záporné ionty. Rudné těleso má potom kladný náboj a na jeho povrchu je náboj záporný. Pokud je těleso vodivé, vzniká v jeho spodní části v redukční zóně záporný náboj a v okolí kladný. Celý pochod je stejný jako vznik proudu v galvanickém článku [Mašín, Válek, 1963, s. 100 a 103].

Měříme-li elektrický potenciál na povrchu nad takto polarizovaným ložiskem, zjistíme nad svrchní částí tělesa záporný potenciál. Nejsilnější potenciální rozdíly jsou nad ložisky pyritu, pyrthorinu a grafitu, v malé míře nad ložisky magnetitu, antracitu a kamenného uhlí [Mašín, Válek, 1963,

s. 103-104]. V těchto oblastech lze naměřit intenzitu elektrického pole až 10 mV/m, což v půdě o měrném odporu $100 \Omega \cdot \text{m}$ představuje hustotu proudu $0,1 \text{ mA/m}^2$. Potrubí, které prochází elektrickým polem soustřeďuje proud v intenzitě závislé na izolačním povlaku. Zatímco katodické úseky bývají rozsáhlejší, anodické úseky mohou být omezeny na místo vodivé tektonické zóny vystupující k povrchu. Při katodické ochraně tu může docházet k četným anomáliím, avšak správně provozovaná aktivní ochrana je zárukou ochrany před korozí potrubí [Polák, 1992, s. 336].



Obr. 4. Spontánní polarizace na pyritovém ložisku [Mašín, Válek, 1963, s. 103]

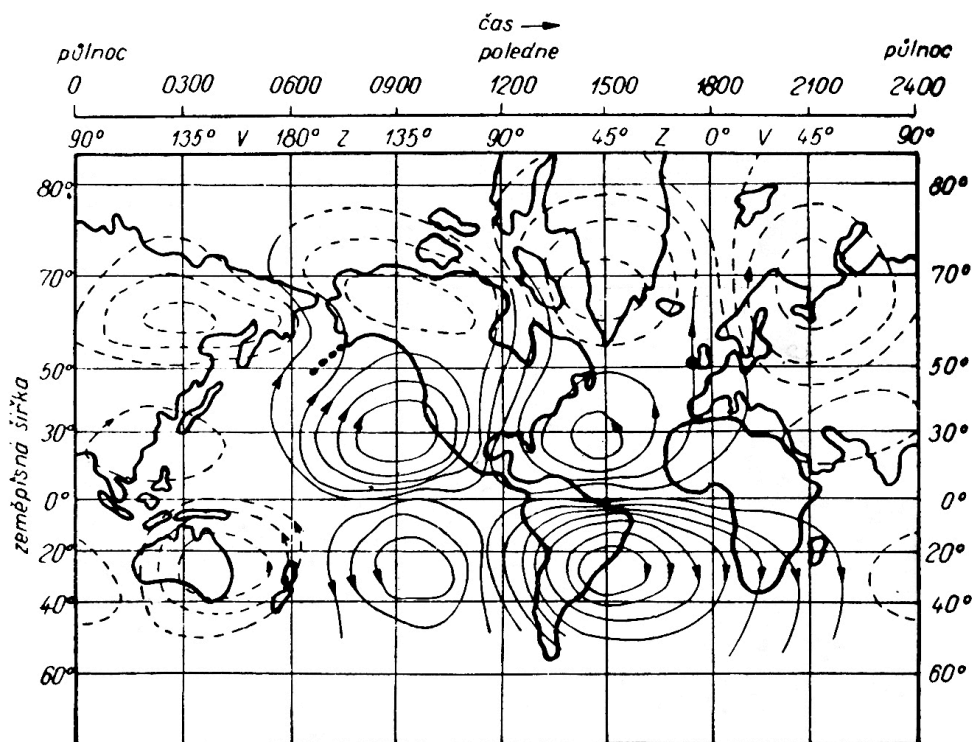
3.1.2 Telurické proudy

Spojíme-li mezi sebou dvě místa na povrchu Země, zjistíme mezi nimi potenciální rozdíl, i když neexistují v blízkosti žádné zdroje elektrického proudu. Velikost těchto potenciálních rozdílů je řádově 10 mV/km a značně se mění s časem. Jejich příčinou jsou elektrické proudy celozemského charakteru, které protékají svrchními vrstvami zemské kůry, kde sedimentární vrstvy jsou mnohem lepším vodičem než krystalické horniny [Mašín, Válek, 1963 s. 100 a 102; Polák, 1992, s. 335-336].

Telurické proudy jsou indukovány v zemské kůře elektrickými proudy v ionosféře, které souvisí s denními variacemi magnetického pole. Průběh telurických proudů je stálý vzhledem k slunci a posunuje se po zemském povrchu rychlostí zemské rotace stejně jako denní magnetické variace. Telurické proudy tvoří na zemském povrchu osm uzavřených systémů, které jsou znázorněny na obrázku 5, který zachycuje jejich průběh v 18:00 hodin greenwichského času. Přitom jejich intenzita je největší na straně přivrácené ke slunci a velmi malá na straně odvrácené [Mašín, Válek, 1963 s. 100-101].

Zemské magnetické pole indukuje napětí v izolovaných potrubích, podobně jako se indukuje napětí v izolovaných vodičích elektrického generátoru. Jevy jsou pozorovatelné zvláště v období výskytu slunečních skvrn, kdy dochází k magnetickým bouřím. Přirozené geologické vodiče, jako jsou např.

tektonicky oslabené zóny se svou vodivostí mohou vyrovnat umělým vodičům, např. ocelovým potrubím. Např. tektonicky oslabená zóna mocná 5 m, s hloubkovým dosahem 1000 m a s měrnou vodivostí řádu jednotek $\Omega \cdot m$ má stejnou vodivost jako ocelové potrubí s plochou oceli 450 mm^2 v kolmém řezu. Podobné tektonicky oslabené zóny jsou v zemské kůře zcela běžným jevem a vytvářejí síť kontinentálních, regionálních a lokálních vodičů o délkách stovek metrů až tisíců kilometrů s hloubkovým dosahem stovek metrů až desítek kilometrů. V těchto vodičích, rotujících v poli magnetosféry a ionosféry je neustále indukován elektrický proud [Gruntorád, 1993, s. 335].



Obr. 5. Světový systém telurických proudů [Mašín, Válek, 1963, s. 101]

3.2 Umělá stejnosměrná zemní proudová pole

Vznik umělých zemních proudových polí je následkem vzniku bludných proudů. Bludné proudy jsou proudy, které se dostanou do půdy vlivem nedostatečně od země izolovaného vodiče nebo ze zařízení které užívá zem jako zpětný vodič [Technický naučný slovník I. díl, 1981, s. 207]. Z hlediska nebezpečí elektrochemické koroze bludnými proudy jsou nebezpečné hlavně stejnosměrné bludné proudy. Koroze stejnosměrnými bludnými proudy je u úložných zařízení považována za nejškodlivější ze všech druhů elektrochemické koroze. Střídavé bludné proudy se za normálních podmínek nepovažují co do korozního vlivu za škodlivé [Jeršov, 1956, s. 5-6]. Výjimku mohou tvořit indukované střídavé proudy při souběhu potrubí s velmi kvalitní izolací s vedením velmi vysokého napětí, viz kapitola 2.3 této diplomové práce.

Zdrojem stejnosměrných bludných proudů jsou nejčastěji:

- Stejnosměrně elektrizované železnice (hlavní tratě 3 kV), městské tramvajové dráhy (600 V), důlní dráhy (povrchové doly 1,5 kV), metro (750 V), které využívají kolejnice jako zpětný vodič trakčního proudu,
- zařízení na aktivní ochranu proti korozi – zdroje vnějšího stejnosměrného proudu katodické ochrany, elektrické drenáže a saturáže,
- stejnosměrné rozvody v průmyslových podnicích, loděnicích a přístavech kde se pracuje s elektrickými svářecími aparáty,
- elektrochemické technologie – např. galvanizovny, výroby hydroxidu sodného a chlóru,
- stejnosměrné vysokonapěťové rozvodné soustavy VNSS (HVDC) [Koudelka, 2003, s. 3; Novák, 2002; Polák, Veleta, 2002, s. 35].

Stejnosměrná trakční proudová soustava je vzhledem ke své rozloze nejvýznamnější zdroj bludných proudů, který elektrochemickou korozi ovlivňuje vodivá úložná liniová zařízení (potrubí, kabely) i neliniová zařízení (mosty, nádrže). Kolejnice, kterých se užívá jako zpětného trakčního vedení nejsou od země dokonale izolovány a umožňují proto vždy unikání trakčních proudů do země [Jeršov, 1956, s. 8; Laníček a kol., 1997, s. 77]. Nedokonalost izolace kolejnic od země je ale zároveň nutností z hlediska bezpečnosti. Zamezuje se tak vytvoření, průtokem proudu kolejnicí, příliš velkého napětí mezi kolejnicí a zemí což by mohlo být pro uživatele (cestující) nebezpečné [Koudelka, 2002, s. 4].

Železniční spodek je typickým elektrolytickým prostředím, obsahuje různé chemické prvky a sloučeniny v pevném i kapalném skupenství. Jedná se o masivní nehomogenní vodič s iontovou vodivostí. Pokud vznikne rozdíl potenciálů mezi železničním svrškem a spodkem vybuzený jakýmkoliv zdroji, začne mezi těmito body protékat proud. Tyto proudy se uzavírají cestou nejmenšího odporu a procházejí vrstvami půdy s malým měrným odporem. Jejich cesta se nedá přesně určit – jsou rozloženy do vzdálenosti stovek metrů od trati – odtud název bludné proudy. Někdy tyto proudy mohou téci až několik desítek kilometrů od trati a může být těžké určit, zda je zdrojem bludných proudů elektrifikovaná trať nebo jiné zdroje [Janotka a kol., 1987, s. 125; Paleček, 2006, s. 39].

Hlavní cesty unikání trakčních proudů z kolejnic jsou:

- Z paty kolejnic do hřebů a dále do pražce a kolejového lože,
- z paty kolejnic do kolejnicové podložky a dále do pražce a kolejového lože
- z kolejnice do klínových svěrek pro zajištění kolejnic proti putování a dále do kolejového lože,
- z povrchu kolejnic (paty, stojky, hlavy kolejnic) při znečištěném loži přímo do kolejového lože (ve stanicích) [Jeršov, 1956, s. 8-9].

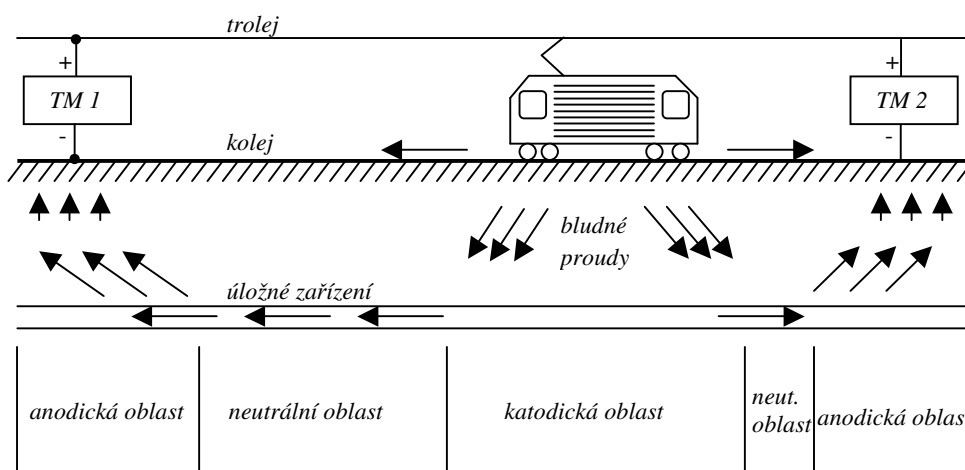
Existuje poměrně velký rozdíl mezi izolačním odporem kolejiště za sucha u ideálně čistého šterkového lože a za vlhka u neošetřovaného šterkového lože. Také se uplatňuje materiál a provedení

pražců. Minimální hodnoty přechodového odporu mezi kolejí a zemí se pohybují v řádu desetin až jednotek $\Omega \cdot \text{km}$, více viz kapitola 4.1.1 této diplomové práce. Za dlouhodobého sucha a hlavně za silných mrazů dosahuje přechodový odpor i 150 až 200 $\Omega \cdot \text{km}$ [Horák, 1989, s. 97].

Zpětný proud vnikající do země dosahuje poměrně značných hodnot. Podle čistoty šterkového lože a vzdálenosti paty kolejnice od kolejového lože činí část proudu, který vniká do země 15 až 60 % celkového proudu. Při výkonu trakčních měníren 5 až 10 MW a při napětí 3 kV dosahují proudy v trakčním vedení 1500 až 3000 A. Část zpětného proudu, který vniká do země dosahuje pak hodnot 500 až 2000 A [Koudelka, 2003, s. 4].

3.2.1 Vznik a rozložení potencionálních pásem na úložných zařízeních

Na obrázku 6 je schematicky znázorněn přechod proudu z kolejnice do země. V případě že je v zemi uloženo nedokonale izolované vodivé zařízení (potrubí, kabel, nádrž apod.) je proud veden i tímto zařízením.



Obr. 6. Průběh zpětného proudu v koleji a v zemi při kladné polaritě troleje a dvou trakčních měnírnách

Podle toho zda bludný proud do zařízení vstupuje, vystupuje, nebo je jím jen veden, vytvářejí se tři potenciálové oblasti:

Katodická oblast – v místech kde proud vstupuje z okolní půdy do úložného zařízení. Z hlediska elektrochemické koroze není tato oblast většinou nebezpečná, ale vlivem vzniku vodíku dochází ke křehnutí materiálu a zmenšení jeho pevnosti což je zvláště nebezpečné u plynovodů, ale může působit negativně i na ocelovou výztuž betonu, kdy se také působením vodíku narušuje tato výztuž a zmenšuje se soudržnost ocele s betonem. V katodické oblasti jsou korozi ohrožena také úložná zařízení vyrobená z hliníku, např. hliníkové pláště kabelů. K elektrochemické korozi hliníku dochází totiž stejně jak v anodických oblastech tak v katodických oblastech.

Neutrální oblast – v místech, kde bludné proudy jen protékají úložným zařízením. Tato oblast není ohrožena elektrochemickou korozí.

Anodická oblast – v místech kde bludné proudy vystupují z úložného zařízení. Z hlediska elektrochemické koroze je tato oblast velmi nebezpečná a je nejvíce sledována měřením. V této oblasti dochází k elektrolytickému rozpouštění kovů, které se projevuje proděravěním kovu v místě poruchy přičemž v místě poruchy je kov čistý, bez rzi. Na ocelové výztuži v betonu se v anodické oblasti usazují korozní zplodiny, které mají větší objem než objem původní oceli, vzniká napětí v betonu a mohou se tvořit trhliny, kterými může vnikat kyslík, vlhkost a agresivní prostředí a ještě urychlovat korozi výztuže. Snižuje se také adheze výztuže k betonu [Chrásková, 1983, s. 76; Janotka a kol., 1987, s. 125-126; Sobolichová a kol., 1985, s. 34].

3.2.2 Vliv polarity trakčního vedení na rozložení potencionálních pásem

3.2.2.1 Kladná polarita troleje, záporná polarita koleje

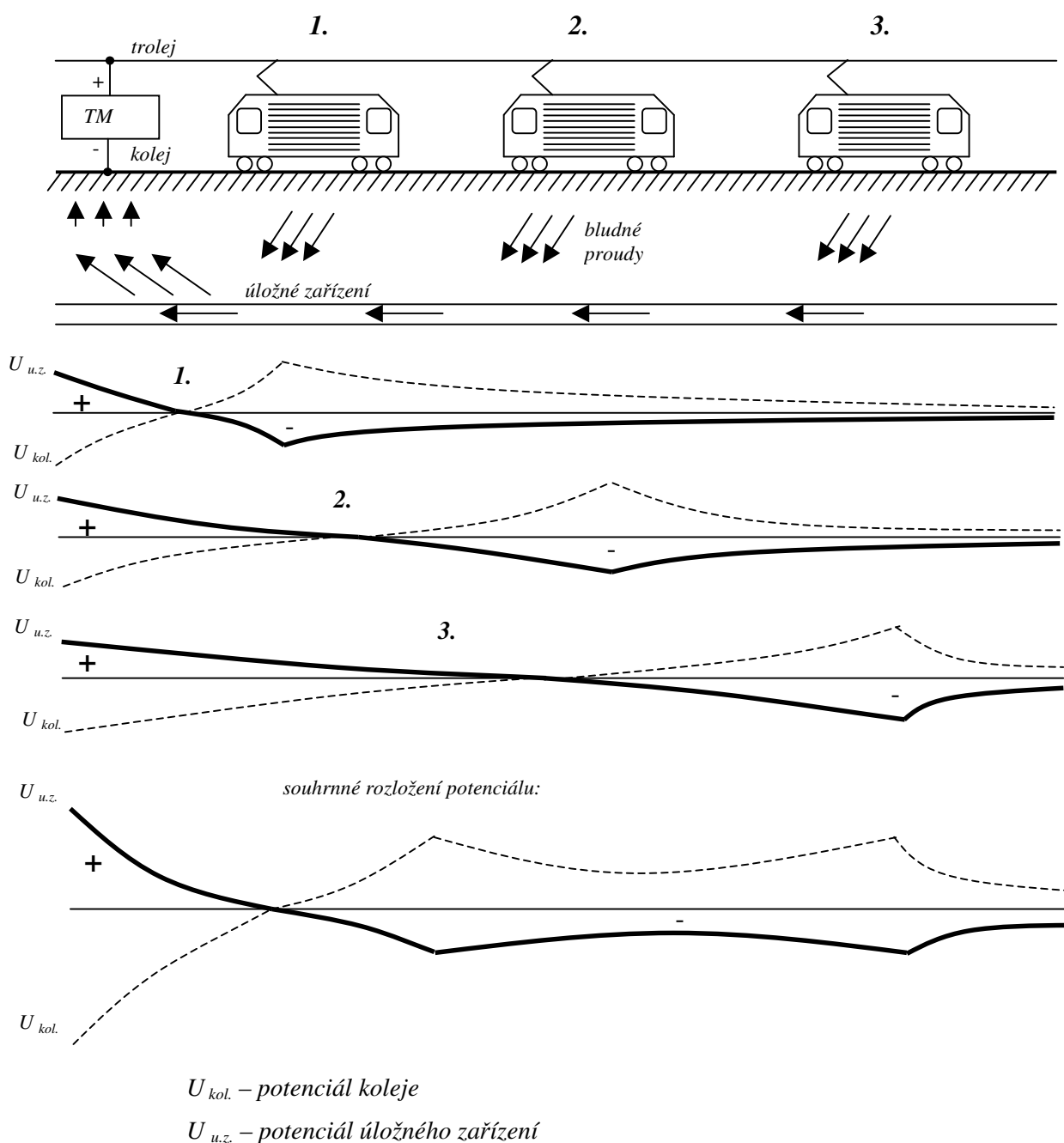
Z obrázku 7 je patrné rozložení anodických a katodických oblastí při tomto způsobu napájení a jedné měnirně. Je vidět, že poloha katodické oblasti se mění s polohou elektrické lokomotivy, zatímco anodická oblast se soustřeďuje k trakční měnirně – nebezpečná anodická oblast je trvale v okolí napájecího bodu. Délka anodového pásma bývá zpravidla nevelká, značně menší než délky katodových a proměnných pásem. Proto je v anodovém pásmu značné nebezpečí korozního poškození úložných zařízení.

Tohoto způsobu, kdy je kladná polarita v troleji, se používá na elektrizovaných tratích Českých drah. Je to proto, že kladná polarita trolejového vedení umožňuje využít výhodného přirozeného záporného potenciálu na části úložného zařízení vzdáleného od měnirny, dává dobré podmínky pro použití drenážní ochrany a výkyvy potřebného ochranného potenciálu při použití katodické ochrany jsou menší než v případě záporné polarity troleje [Jeršov, 1956, s. 11-12; Viktorin, 1971, 43-46].

3.2.2.2 Záporná polarita troleje, kladná polarita koleje

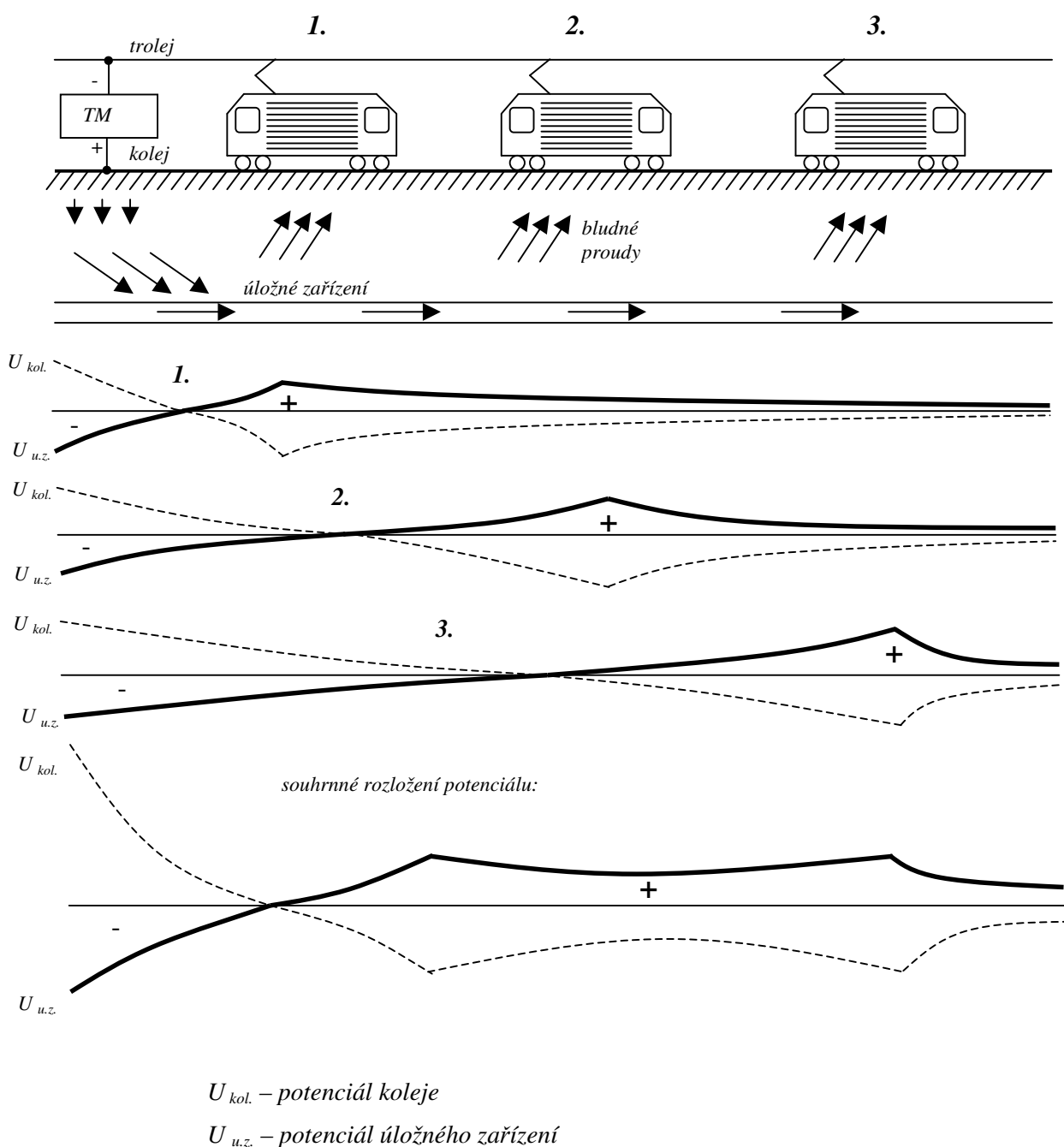
Tuto situaci znázorňuje obrázek 8. Anodická zóna, která je z hlediska koroze nebezpečná, se mění s polohou lokomotivy, takže postupně zachvacuje celou délku úložného zařízení. Katodická oblast je soustředěna u zdroje napájení. Celková délka anodových pásem je zpravidla velká a značně převyšuje délku katodového pásma. Proto je riziko poškození korozí v anodových pásmech (za jinak stejných podmínek) značně menší než v předešlém případě záporné polarity kolejnic. Toto zapojení však velmi ztěžuje aplikaci ochranných opatření proti korozi bludnými proudy, protože nebezpečná anodická oblast není trvale v blízkosti měnirny, ale je rozložena po celé délce trati a mění svou polohu s pohybem elektrických lokomotiv [Jeršov, 1956, s. 12; Viktorin, 1971, 43-46].

Jeršov uvádí, že zvláštní zkoušky prokázaly, že přechod ze záporné polarity kolejnic na kladnou nemění hodnotu trakčních proudů unikajících z kolejnic a intenzitu bludných proudů v úložných zařízeních. Se vzrůstající délkou anodového pásma se tedy podstatně snižuje nebezpečí poškození korozí, a to jak co do počtu případů poškození, tak i co do zkrácení doby životnosti před jeho prvním poškozením [Jeršov, 1956, s. 12]. Někdy se toto připojení troleje na záporný potenciál doporučuje. Je to při řídké jízdě vlaků, kdy se periodicky mění polarita zařízení uloženého v zemi, čímž se do určité míry zpomalují korozní účinky [Viktorin, 1971, s. 46].



Obr. 7. Rozložení anodických a katodických oblastí při kladné polaritě troleje

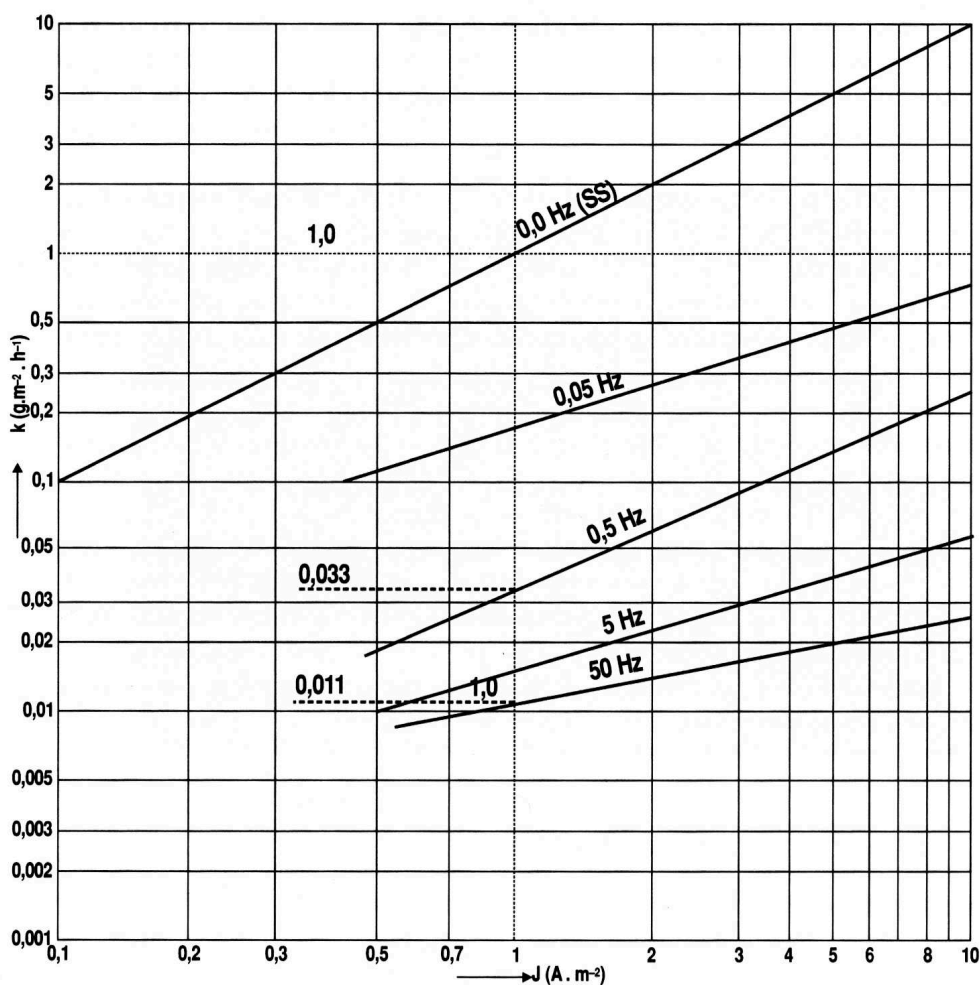
Tento způsob se používá v některých městech u městské hromadné dopravy např. v Ostravě a v Brně [Koudelka, 2003, s. 5]. V Brně tomu tak ale nebylo vždy. Tramvajová doprava byla v Brně zahájena roku 1900 s kladnou polaritou troleje. Z důvodu intenzivní koroze litinových vodovodů a plynovodů v oblastech připojení zpětných kabelů (blízko měníren) se provozní spolehlivost těchto sítí narušila natolik že v roce 1930 byla kolejová trakce přepólována. Bylo to jediné okamžité možné řešení – korozní ohrožení bylo přesunuto na celou plochu inženýrských sítí a nesoustředovalo se již do malých oblastí poblíž měníren [Badouček, 1983, s. 164]. Na hlavních železničních tratích je ale výhodnější použít prvního způsobu, tedy připojení troleje na kladný potenciál [Viktorin, 1971, s. 46].



Obr. 8. Rozložení anodických a katodických oblastí při záporné polaritě troleje

3.3 Umělá střídavá zemní proudová pole

Zdroji střídavých bludných proudů jsou zejména elektrizované dráhy s trakční proudovou soustavou 25 kV, 50 Hz. Vedení střídavého proudu podléhá ve srovnání s proudem stejnosměrným odlišným zákonitostem. Kovové vodiče v důsledku vlastní indukčnosti, skin efektu a změn permeability kladou střídavému proudu větší odpor než stejnosměrnému (např. odpor kolejnic je pro střídavý proud o frekvenci 50 Hz přibližně 5 krát větší). Důsledkem těchto jevů je fakt, že pouze asi 25 % zpětného proudu je vedeno kolejnicemi, zatímco zbývajících 75 % uniká do země. Při proudových hustotách dosahovaných v praxi na kovových obalech sdělovacích kabelů a u potrubí s asfaltovou izolací činí koroze střídavým proudem u olova a oceli asi 1 % koroze, kterou by způsobil ekvivalentní stejnosměrný proud a je prakticky zanedbatelná. U hliníku však může koroze dosáhnout jednotek až desítek procent koroze adekvátním stejnosměrným proudem, což je nebezpečné pro sdělovací kabely s hliníkovým pláštěm, které byly pokládány podél tratí elektrizovaných střídavou soustavou 25 kV, 50 Hz [Adam, Chrásková, 1987, s. 173]. Porovnání korozních ztrát oceli způsobených korozí stejnosměrnými a střídavými proudy je znázorněno na obrázku 9.



Obr. 9. Porovnání korozních ztrát oceli způsobených stejnosměrným a střídavým proudem [Polák, Veleta, 2002, s. 47]

Na vznik střídavých bludných proudů se může kromě vazby galvanické podílet i vazba induktivní, což může být nebezpečné hlavně pro potrubí s velmi kvalitní izolací vedené v souběhu s linkami vedení velmi vysokého napětí (vvn) nebo v souběhu se střídavou elektrickou trakcí. Ačkoli do nedávné doby převládal názor, že střídavý proud svými korozními účinky představuje pro ocel jen asi 1 % adekvátního stejnosměrného proudu, byly zjištěny koroze potrubí s izolacemi o relativně vysokém odporu izolace 10^4 až $10^5 \Omega \cdot m^2$ způsobené střídavým proudem za poměrně krátké období několika let po výstavbě a to v místech malých poškození o ploše asi 1 cm^2 . Místa, kde došlo k poškození potrubí střídavým proudem mají společný znak: vyskytují se na potrubí vedeném v souběhu s trasou linek vvn, případně v souběhu a při křížení s železniční tratí napájenou střídavým proudem. Koroze tedy vzniká indukovaným proudem z paralelně vedených linek vvn a tratí.

Z různých laboratorních i terénních měření lze odvodit určité, poměrně široké meze kritických proudů a potenciálů. Jako orientačního kritéria možného korozního procesu lze použít proudovou hustotu a střídavé napětí proti zemi. Pokud je naměřeno méně než cca 15 A/m^2 a napětí menší než 15 V , je předpoklad, že nedojde k závažné korozi. Při proudové hustotě větší než 15 A/m^2 již nelze používat kritérium ochranných potenciálů a i při zcela evidentní katodické polarizaci stejnosměrným proudem může dojít k vážnému koroznímu napadení. Je tomu tak proto že při vysokých hustotách střídavého proudu se katodickou polarizací nepotlačí anodická půlvlna. Kontrola účinku katodické polarizace se může uskutečnit pouze vložením malých, předem zvážených vzorků spojených s chráněným objektem, které se po určitém čase vyjmou, zkontrolují a zváží. Při experimentálních měřeních v našich podmínkách byly na vzorcích o ploše 1 cm^2 , které byly dlouhodobě instalovány v blízkosti potrubí s velmi kvalitní izolací, zjišťovány možné korozní úbytky. Zkoušky prokázaly, že pokud proudová hustota nepřesáhla 15 A/m^2 a napětí bylo menší než cca 20 V , nebyla na zkušební elektrodě zjištěna žádná koroze i když byl střídavý proud tekoucí potrubím až 30 krát větší než proud z katodické ochrany.

Měřicí elektrody, používané ke zjišťování proudových hustot by měly mít povrch upraven definovaným způsobem, který by měl být popsán, aby se získaly reprodukovatelné výsledky. Skutečná aktivní plocha kovu totiž není totožná s plochou vypočtenou z geometrických rozměrů. Například povrch oceli ČSN 11 320 se po otryskání pískem o velikosti zrna $0,3 \text{ mm}$ zvětší 9 krát, při použití zrna $1,2 \text{ mm}$ 14 krát oproti povrchu leštěnému. Proudová hustota bude mít tedy jinou hodnotu, vztáhne-li se proud na skutečnou plochu elektrody nebo na plochu vypočtenou z geometrického tvaru [Franz, 1997, s. 54-55; Polák, Veleta, 2002, s. 43-48; Veleta, 1993, s. 210-213].

4 Metody protikoroze ochrany

Metody ochrany úložných zařízení proti účinkům bludných proudů můžeme rozdělit na opatření k omezení vzniku bludných proudů a opatření k omezení účinků bludných proudů, které nebylo možno potlačit. Celková koncepce ochrany je kombinací pasivních a elektrických ochranných metod [Viktorin, 1960, s. 24].

4.1 Omezení vzniku bludných proudů

4.1.1 Zvýšení přechodového odporu mezi kolejí a zemí

Z hlediska omezení vzniku bludných proudů je přechodový odpor mezi kolejí a zemí jednou z nejdůležitějších hodnot. Vyhláška ministerstva dopravy ČR č. 177/1995 Sb. stanovuje maximální hodnotu svodové admitance (tj. převrácená hodnota přechodového odporu) mezi kolejí a zemí, v místech provozu kolejových obvodů, na 1,5 S/km. Norma ČSN EN 50122-2 stanovuje tyto hodnoty pro svodovou vodivost G'_{RE} a průměrný potenciál koleje U_{RE} :

$G'_{RE} \leq 0,5 \text{ S/km}$ tratě a $U_{RE} \leq +5 \text{ V}$ pro otevřené kolejové lože (kolejnice je nad úrovní okolního povrchu)

$G'_{RE} \leq 2,5 \text{ S/km}$ tratě a $U_{RE} \leq +1 \text{ V}$ pro zapuštěné kolejové lože (kolejnice je ve stejné úrovni jako okolní povrch)

Tyto hodnoty platí pro jednokolejnou trať. Pro dvoukolejnou trať je hodnota měrné svodové vodivosti dvojnásobná a pro vícekolejné tratě se dále odpovídajícím způsobem zvyšuje. Abychom dosáhli této hodnoty nesmí být kolejové lože a pražce na elektrizovaných tratích elektricky vodivé. Je nutné, aby po celé trati byla dostatečná mezera mezi patou kolejnice a kolejovým ložem (asi 5 cm). Dřevěné pražce musí být vhodně impregnovány a betonové pražce musí být izolované od upevnění kolejnic. Kolejové lože musí být čisté a propustné, aby bylo zabráněno zadržování vody [ČSN EN 50122-2, s. 9; Koudelka, 2003, s. 6; Viktorin, 1971, s. 47; Vyhláška MD č. 177/1995 Sb., s. 20].

Při výstavbě nových koridorových tratí resp. při modernizaci a rekonstrukci stávajících tratí se parametry železničního svršku zásadním způsobem mění a dochází k tomu že hodnota přechodového odporu bývá řádově větší než požaduje výše zmíněná vyhláška. Důvodem je především používání nových technologií odizolování pražců od kolejnic podle evropských standardů a ukolejňování kovových konstrukcí přes regenerovatelné průrazky dimenzované podle dovolených provozních potenciálů kolejí. Hodnoty přechodového odporu tak u nových tratí často převyšují 100 $\Omega \cdot \text{km}$ zatímco u nerekonstruovaných tratí se hodnota pohybuje okolo 1 $\Omega \cdot \text{km}$. U nových tratí je tedy značně omezen únik bludných proudů z kolejí do země což snižuje korozní ohrožení blízkých úložných zařízení. Také se podstatně mění rozložení anodických a katodických oblastí, které jsou mnohem méně zřetelné než u nerekonstruovaných tratí. Korozní ohrožení úložných zařízení se soustřeďuje do míst kde bludný proud může téci zpět do kolejí a dále do trakční měničny. Jako příklad můžeme uvést železniční stanici

s rozvětveným kolejištěm, kde se v blízkosti nacházejí úložná zařízení a rozsáhlé zemnicí sítě. Naopak, v blízkosti trakční měnirny situované na širé trati je návrat bludných proudů v důsledku vysokého izolačního odporu kolejí proti zemi značně omezen. Značné omezení úniku bludných proudů do země u nových tratí je výhodné, ale může mít i negativní důsledky na drenážní zařízení viz kapitola 4.2.2.7 [Matouš, 2009, s. 1-2].

4.1.1.1 Používání průrazek

Používání průrazek podstatně přispívá k dosažení příznivějších hodnot přechodového odporu mezi kolejí a zemí. Kovové konstrukce a zařízení podél elektrizovaných tratí, jako jsou trakční stožáry, mosty apod., se připojují na kolejnici vedoucí trakční proud. Účelem těchto spojení je zajištění spolehlivé funkce ochrany trakčního vedení v případě nebezpečných napětí na kovových konstrukcích. Průrazka je v podstatě průrazné jiskřiště, které se zapojuje mezi kolejnici a kovovou konstrukci, která má být zemněna. Při normálním provozu průrazka izoluje kovová zařízení od kolejí. V případě, že na konstrukci vznikne napětí rovné nebo vyšší průraznému napětí průrazky (probití izolátoru, atmosférické přepětí apod.) vznikne v průrazce elektrický oblouk, zkratový proud se odvede ze zařízení do kolejí a dále do napájecí stanice kde ochrany vypnou příslušný napájecí úsek. V případě přímého propojení kovových konstrukcí s kolejnici by se podstatně snížil přechodový odpor mezi kolejí a zemí – kovové konstrukce by v podstatě plnily úlohu zemniče – což by mělo za následek unikání trakčních proudů do země skrz tato kovová zařízení. Pro bezpečnost použití průrazek je rozhodující výše průrazného napětí a schopnost svádět zkratové proudy. Např. průrazky z bývalého Sovětského svazu měly průrazné napětí 500 až 800 V tedy výrazně více, než připouští bezpečné dotykové napětí. Proto později výzkumný ústav dopravní v Praze vyvinul průrazku s průrazným napětím méně než 60 V a s velkou proudovou zatížitelností. [Jansa, Peleňský, 1982, s. 100; Viktorin, 1961, s. 1; Viktorin 1971, s. 48].

4.1.1.2 Zajištění předepsané hodnoty izolačního odporu zpětného vedení

Zpětné vodiče, pokud jsou požadovány, se ukládají souběžně s jízdními kolejnici a musí k nim být připojeny v pravidelných vzdálenostech. Současně musí být izolovány proti zemi. Zpětné kabely propojují jízdní kolejnici s napájecí stanicí. Je nutné je správně dimenzovat a pravidelně kontrolovat jejich izolační stav. Kde je možnost mechanického poškození, mají mít kabely navíc dodatečnou ochranu. To je důležité zvláště u městských drah, kde délka zpětných kabelů je značně delší než u tratí ČD. U více kolejných tratí se musí v místě připojení zpětných kabelů provést příčné spojení mezi kolejnici [ČSN EN 50122-2, s. 11; Koudelka, 2003, s. 6].

4.1.2 Zvýšení elektrické vodivosti kolejí vedoucích trakční proud

Kolejnice se podélně svařují nebo se mechanické spoje opatřují měděnými elektrovodivými propojkami o průřezu 70 až 120 mm² s nalisovanými železnými koncovkami, které se navařují na kolejnice. V určitých vzdálenostech se provádí vodivé spojení mezi kolejnicovými pásy téže koleje a mezi sousedními kolejemi za účelem vyrovnání potenciálů kolejnicových pásů trakčního vedení. Zlepšení vodivosti kolejí, na nejexponovanějších místech z hlediska bludných proudů, se může dosáhnout také použitím kolejnic o větším průřezu. Rovněž je třeba zřídít izolované kolejnicové styky na rozmezí elektrifikovaných a neelektrifikovaných tratí [Janotka a kol., 1987, s. 124; Viktorin, 1971, s. 47; Jeršov, 1956, s. 18; Koudelka, 2003, s. 6].

4.1.3 Zmenšení vzdálenosti mezi místy připojení zpětného vedení

Zvyšování počtu měníren nebo pokládání dalších kabelů zpětného vedení a zřizování dalších míst připojení tohoto vedení znamená menší odpor trakčního obvodu a tím i menší únik proudu z kolejnic do země [Koudelka, 2003, s. 6]. Tato opatření jsou velmi nákladná a pro omezování unikání trakčních proudů do země se jich používá jen zřídka [Jeršov, 1956, s. 16].

4.1.4 Volba způsobu napájení trakční sítě

Z hlediska úniku bludných proudů do země je nejméně výhodné jednostranné napájení, protože při něm tečou proudy od hnacího vozidla do měnírny pouze jednou cestou. Dále napájení dvoustranné a čtyřstranné při kterém teče proud od lokomotivy do měnírny dvěma cestami. Nejvýhodnější je napájení čtyřstranné, při kterém jsou vzájemně propojeny sousední koleje a vodivý průřez kolejí se tak několikanásobně zvětší.

Je také výhodné přenášet trakční výkony s co největším napětím protože k přenesení stejného výkonu bude stačit menší proud. Tím se zmenšují proudy v kolejnicích, což vede i ke zmenšení unikajících bludných proudů [Koudelka, 2003, s. 6].

4.1.5 Používání rekuperačního brždění

Při rekuperačním brždění pracují trakční motory elektrické lokomotivy jako generátory a vracejí vyrobený proud zpět do trakční sítě. Toto opatření zkracuje dobu unikání proudu ze zpětných kabelů, které by bez rekuperačního brždění vedly větší trakční proud zpět do trakční měnírny [Jeršov, 1956, s. 16].

4.2 Omezení účinků bludných proudů

Vyhláška UIC 605-2ed. již v úvodu konstatuje, že nelze zabránit tomu, aby část zpětného trakčního proudu procházela zemí a v blízkosti napájecí stanice se pak vracela zpět k druhému pólu napájecí stanice. Opatření k omezení účinku bludných proudů můžeme rozdělit na pasivní a aktivní protikorozi ochranu:

4.2.1 Pasivní protikorozi ochrana

Minimální a povinnou protikorozi ochranou je tzv. pasivní ochrana. Jsou to opatření, která omezují vstup a výstup bludných proudů do zařízení nebo omezují tok proudu přes něj. Její podstata je ve zvýšení elektrického odporu úložného zařízení proti zemi a to odizolováním povrchu zařízení od korozi prostředí (půdy), popřípadě zvýšení podélného elektrického odporu zařízení. Pojmem pasivní protikorozi ochrana zahrnujeme také opatření jako vhodná volba trasy potrubí, speciální způsoby uložení potrubí apod. Vhodnou volbou trasy nemusí být myšleno jen vedení potrubí mimo oblast bludných proudů, ale naopak také i řešení kdy je potrubí vedeno poblíž zdroje bludných proudů a jejich nepříznivý vliv je eliminován elektrickou drenáží [Koudelka, 2003, s. 10; Laníček a kol., 1997, s. 79; Veleta a kol., 1997, s. 325-326].

4.2.1.1 Použití korozi odolných materiálů

Z hlediska koroze je vhodný takový výběr materiálu, který není korozi napadán. Lze-li úložné zařízení vybudovat z elektricky nevodivého materiálu, potom je korozi vliv bludných proudů zcela vyřešen. Například pro rozvod plynu je využíváno potrubí z polyetylenu, avšak možnosti jeho použití jsou omezené potřebnou dimenzí a tlakem. Pro potrubí větších průměrů než DN 350 a pro potrubí s vyššími tlaky není dosud jiná možnost, než použití ocelových potrubí. Polyetylenová potrubí také není možné používat k rozvodu plynu v poddolovaném území. To je případ oblasti Ostravska, kde sesedání půdy následkem dřívější těžby uhlí může způsobovat deformace a přetrhání potrubí, kabelů, praskání kovových konstrukcí apod. [Laníček a kol., 1997, s. 79; Míčko, 1985, s. 139; Veleta a kol., 1997, s. 324]. Pro dlouhé zásobní a přiváděcí vodovodní řády velkých profilů s malým množstvím vertikálních a horizontálních změn v silně korozi vnímání prostředí a obtížných stavebních podmínkách lze použít sklolaminát. Pro malé profily (do DN 200) se stabilním podloží je možné použít PVC nebo PE. Pro rozvodné řády vodovodní sítě, zejména s nestabilním podloží nebo pro výtlačné řády s vysokými provozními tlaky lze doporučit litinu, která je korozi odolnější než ocel [Tuhovčák, 2002, s. 9].

4.2.1.2 Izolační povlaky kovových úložných zařízení

4.2.1.2.1 Izolace kabelů s kovovými obaly

K tomuto účelu se používaly asfaltové izolace, izolace z impregnovaného papíru, vláknitý obal z jutové příze, vrstvy polyvinylchloridu, pryže apod. Tyto izolace byly spolu kombinovány a vrstveny na sebe. Například jednoduchá protikorozi ochrana sestávala:

- z celistvého asfaltového polevu průměrné tloušťky 0,25 mm,
- ze tří až šesti vrstev impregnovaného papíru tloušťky 0,125 mm až 0,3 mm, přičemž jednotlivé vrstvy byly také opatřeny asfaltovým polevem,
- ze dvou ocelových impregnovaných pásů,
- z vláknitého obalu z impregnované jutové příze,
- z vrstvy asfaltu,
- z emulze mikromletého vápence,

Tato ochrana nemohla zajistit skutečnou elektrickou izolaci mezi kabelovým pláštěm a půdou takže nemohlo být zabráněno vstupu a výstupu bludných proudů v nebezpečných oblastech. Jutové obaly kabelů nasávají vodu, která obsahuje kyseliny, soli a žíraviny a vytváří tak elektrolytické prostředí. Proto byly v oblastech s bludnými proudy používány zesílené izolace, přičemž bylo využíváno plastických hmot (polyvinylchlorid – PVC, polyetylén – PE apod.) a to buď ve formě izolačních pásek, nebo souvislých izolačních obalů. Ochraňování páskováním označována jako OK-5 se vyráběla tak, že se na olověný plášť kabelu nanášela vrstva asfaltu, následovalo ovinutí pěti pryžovými páskami tloušťky 0,6 mm ve stejném smyslu a s negativním překrytím 0,3 mm a jednou mezivrstvou asfaltu nebo vhodného nehydrofobického tmelu mezi druhou a třetí polohou pásků. Na obalu pak byla další vrstva asfaltu a ovinutí jednou páskou z PVC s kladným překrytím 10 – 25 % anebo dvěma páskami kabelového pogumovaného plátna. Celek se pak opatřil polštářem a pancířem podle norem pro příslušné silové popř. sdělovací kabely s olověným pláštěm.

Příznivějších výsledků než u ochraňování páskováním bylo dosaženo u ochraňování lisováním PVC, která se označovala jako OK-3 nebo Y. Tato ochrana dosahovala průměrného izolačního odporu, přepočítaného na 20°C, 26,05 MΩ·km. Pod 50 000 Ω·km klesal izolační odpor jen v ojedinělých případech. Tato ochrana se skládala:

- z lepidla vrstvy s inhibičními účinky (směs asfalt – parafín)
- z nalisované souvislé vrstvy PVC o tloušťce 2,5 mm nebo 3 mm
- z vrstvy asfaltu
- z polštáře a pancíře dle příslušných norem pro silové popř. sdělovací kabely

[Chrásková, 1983, s. 80-82; Viktorin, 1971, s. 52-58].

4.2.1.2.2 *Izolace potrubí*

Vnější povrch ocelových potrubí bývá pasivně chráněn od nejjednodušších asfaltových nátěrů, přes vícevrstvé speciální nátěry až po polyetylenové povlaky. Klasické a nejdéle používané izolace jsou asfaltové. Izolace se u nás vyrábí výhradně u výrobců trub a vyrábí se ve dvou základních druzích – normální a zesílená. Na čistou trubku se nanese základní asfaltový povlak o tloušťce nejméně 0,03 mm a tato vrstva se ovíjí proimpregnovaným armovacím pásem (např. skleněnou rohoží) ve šroubovici s překrytím, případně se postupně nanášejí další vrstvy asfaltu a armovacích materiálů podle typu vyráběné izolace. Povrch izolace se opatří ochranným nátěrem, tzv. vápenným mlékem, proti působení slunečního záření během přepravy, skladování a montáže. V současné době jsou tradiční asfaltové izolace nahrazovány plastovými izolacemi, hlavně polyetylenovými, které se ve vyspělých zemích vyrábějí od počátku 60. let.

Plastové izolace můžeme rozdělit na:

- tovární izolace – extrudované nebo sintrované PE izolace
- páskové zhotovené na trase
- páskové vyráběné na izolační základně popř. v izolovnách trub

Extrudované izolace patří k nejkvalitnějším izolacím a také se z uvedených typů nejvíce používají. Vyrábějí se buď dvojvrstvé, nebo třívrstvé. Při výrobě třívrstvé izolace se na očištěný povrch trubky zahřátý na teplotu 80 až 220°C (podle technologie výroby) nataví vrstva práškového epoxidu o tloušťce 30 až 40 µm. Poté se nataví vrstva speciálního adheziva a na tuto vrstvu je za tepla extruderem vytlačována vrstva polyetylenu, který vytvoří homogenní izolační vrstvu. U dvojvrstvé izolace chybí základní vrstva epoxidu.

Tovární PE izolace vyráběné sintrováním jsou jednovrstvé a vyrábí se tak, že na očištěný a zahřátý povrch (300 až 320°C) se nanáší PE prášek nebo granulát. Přilnavost PE ke kovu je zajišťována první vrstvou roztaveného práškového PE při teplotě vyšší, než je teplotní odolnost PE pomocí složitých nižších produktů, které vznikly teplotní destrukcí. Další vrstvy taveného práškového PE se usazují tak dlouho až je dosaženo potřebné tloušťky izolace.

Izolování izolačním strojem nad výkopem bylo použito pro izolování značné části tranzitního plynovodu. Pro řadu nedostatků (tvoření varhánků a kapes pod izolací) bylo v ČR od tohoto způsobu upuštěno. Varhánky, bubliny a kapsy byly často vyplněny vodou a vlivem stínícího efektu páskové izolace není potrubí v těchto kapsách katodicky chráněno. Izolování páskami na izolačních základnách řeší některé problémy, které se vyskytly u páskových izolací prováděných nad výkopem. Při dostatečném počtu vrstev jsou tyto izolace co do mechanické odolnosti srovnatelné s továrními PE izolacemi.

Pro doizolování svarů, oblouků a tvarovek se používají materiály korespondující s továrními izolacemi potrubí. Platí tedy, že svary trubek s asfaltovou izolací se na stavbě doizolují materiály na bázi asfaltu, nejčastěji natavováním za tepla. Potrubí s plastovou tovární izolací se doizoluje buď za tepla

smršťovacími materiály, nebo za studena páskovými izolacemi. S výhodou lze pro izolování armatur, tvarovek, nádrží apod. použít dvousložkové termosetové nátěrové hmoty (např. epoxidové).

Součástí izolačního systému jsou i prostředky pro ochranu izolace před mechanickým poškozením. Ty mají zvyšovat odolnost izolace při zásypu, při zatlačování kamenů do izolace při sesedání zeminy apod. Neporézní materiály jako jsou folie či plastové desky volně uložené kolem potrubí značně omezují přístup ochranného proudu z katodické ochrany k potrubí. U potrubí, které má být katodicky chráněno je možné použít jen porézní materiály, které propouštějí ochranný proud. Tomuto požadavku nejlépe vyhovují tzv. geotextilite (netkané textilie z odpadových plastových vláken), které jsou rovněž odolné vůči hnití. [Boubela, 1985, s. 90-98; Polák, Veleta, 2002, s. 75-81; Veleta a kol., 1997, s. 326-327].

Šedá litina, která se používá pro vodovodní potrubí, má velmi dobrou korozní odolnost proti elektrickým článkům, které vznikají na rozhraní různých druhů půd i proti bludným proudům. Stejně jako ocelové potrubí se dříve chránily ocelárenskými dehty, později povlaky na bázi asfaltů. Příznivě působí také izolace jednotlivých trub mezi sebou pomocí pryžového těsnění. Litinové potrubí většinou není nutné chránit katodicky, postačí účinnější pasivní ochrana – např. pískový obsyp, zesílená vnější izolace. Tvárná litina vykazuje obecně nižší korozní odolnost než šedá litina. Vnější ochrana potrubí z tvárné litiny je nejčastěji zajištěna zinkovým povlakem, který se skládá z:

- vrstvy kovového zinku žárově nastříkaného na hrubou, ale čistou a suchou plochu,
- vrstvy polorozpuštěného laku.

Minimální množství naneseného zinku je 130 g/m^2 a min. tloušťka vrchního nátěru je 70 mikronů. Zinkový povlak zaručuje dlouhodobou ochranu díky vytvoření nepřetržité a nerozpustné vrstvy zinkových solí. Tato ochrana má však poměrně nízkou účinnost, procházejí-li potrubím bludné proudy nebo když půdní podmínky (kyselost) neumožní vytvoření produktů koroze zinku. V těchto případech je vhodné použít polyetylenovou folii, která se navléká na potrubí při pokládání. Vnitřní povrch vodovodních potrubí jak z šedé tak z tvárné litiny bývá chráněn cementovou výstelkou [Tuhovčák, 2002, s. 6-9].

4.2.1.2.3 Pasivní PKO ocelové výztuže betonu

Betony vystavené účinkům bludných proudů musí být vodotěsné, protože vlhký beton je elektricky vodivý (má přibližně stejnou vodivost jako půda tj. cca $60 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$), kdežto suchý beton je prakticky izolant (cca $2000 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$). Pro zabránění kontaktu betonu s okolním prostředím a proti pronikání vlhkosti se používají následující opatření – impregnace betonu, nátěrové systémy, povlakové systémy, izolační systémy asfaltové, foliové a silikátové. Taktéž je zakázáno přidávat do betonu jakékoli soli, které by snížily elektrický odpor betonu, jako např. urychlovače tuhnutí obsahující chloridy.

Při impregnaci betonu se kapilární a vzdušné póry vyplňují impregnační látkou s následnou polymerací uvnitř betonu. Tak se beton stává odolnější proti pronikání vody. Rozeznáváme impregnaci

povrchovou a hloubkovou. Nátěrové systémy vytvářejí chemicky odolnou nepropustnou vrstvu, jejíž tloušťka se pohybuje od 0,1 až 1 mm při běžných nátěrech a od 1 do 5 mm při hrubých nátěrech. Povlakové systémy na bázi reaktoplastů (např. epoxidové pryskyřice) vytváří povrchovou krycí vrstvu překračující zpravidla 5 mm. Využívají se ve velmi namáhaných chemických a potravinářských provozech, kanalizačních stokách apod. Při použití povlakových systémů se klade velký důraz na kvalitu podkladu (pevnost betonu min. 25 MPa, rovnost povrchu a max. vlhkost 4 %). Mezi další izolační systémy patří klasické asphaltové izolace, foliové izolace z elastomerů jakož i silikátové hydroizolační systémy [Sobolichová a kol., 1985, s. 30-32 a 37-38].

4.2.1.3 Izolační spojky

Izolační spojky slouží ke vzájemnému elektrickému oddělení částí kovového úložného zařízení, čímž vzroste jeho podélný odpor. Použití izolačních spojů v oblastech bludných proudů je však značně problematické. Jejich umístění je nutné specifikovat na základě důkladného rozboru místních podmínek, neboť jejich nesprávné umístění situaci naopak zhoršuje [Veleta a kol., 1997, s. 325].

V letech 1948-50 byly izolační spojky použity k ochraně kabelů s kovovými obaly na trati Paříž – Lyon. Zkušenosti ukázaly, že se sice zmenšila hustota výstupních proudů u napájecích stanic, zpomalil se vznik korozních poruch, ale možnost vzniku koroze se rozšířila na celou délku kabelu. Dále se zjistilo, že největší část proudu vystupující na jedné straně spojky vstupuje na druhé straně [Viktorin, 1971, s. 60]. U vodovodních potrubí proud obtéká izolační spoj nejen okolní půdou ale i přepravovanou vodou [Polák, 1992, s. 150]. Zkušenosti z řešení ochrany v oblasti „Střední Čechy“ ukazují, že izolační spoje jsou obvykle zbytečné při křížení elektrických tratí v katodických oblastech. Jejich použití je opodstatněné pouze při křížení trati v anodické oblasti a to ještě za předpokladu, že bude řešena aktivní ochrana i odizolované části potrubí [Mrázek, 1985, s. 117].

Izolační spoje se musí použít pro oddělení části potrubí, která má být katodicky chráněna od uzemněných zařízení např. od čerpacích a kompresních stanic, skladů, vodojemů, domovních přípojek apod. Například vodovodní domovní přípojka musí být oddělena od domovní instalace. Na straně přiléhající k části potrubí, které má být katodicky chráněno se vnitřní plocha izolačního mezikusu musí navíc chránit povlakem s vysokým odporem, nebo se do obvodu musí vložit alespoň 1 m dlouhý nevodivý mezikus, aby se zabránilo protékání nepřípustně vysokého proudu sloupcem vody uvnitř potrubí. Stejně tak plynovody se oddělují izolačním spojem od domovní instalace, zpravidla v rámci vybavení hlavního uzávěru plynu (HUP), eventuálně před vstupem do skříňky HUP [Míčko, 2008, s. 2 a 8; Míčko, 2009, s. 4; Mrázek, 1985, s. 117].

4.2.2 Aktivní protikorozi ochrana

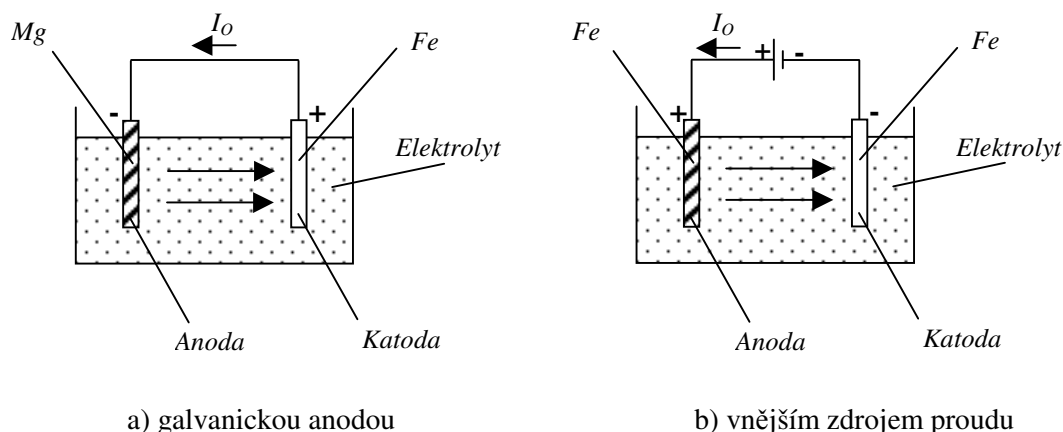
Elektrochemickou protikorozi ochranou rozumíme postupy, kterými dosahujeme zpomalení nebo potlačení korozního procesu a to vhodnou polarizací chráněného kovu [Polák, 1992, str. 54]. Podle polarizace elektrochemické ochrany rozlišujeme anodickou a katodickou ochranu.

Při anodické ochraně je chráněný povrch zapojen jako anoda. Tato ochrana je založena na jevu anodické pasivace kovů a je určena pro vnitřní povrchy zařízení v některých chemických i jiných provozech [Veleta a kol., 1997, s. 325]. Anodická ochrana není předmětem této diplomové práce a proto zde nebude dále rozebírána.

Katodická ochrana se používá k chránění vnějších povrchů kovových úložných zařízení, kde chráněné zařízení je zapojeno jako katoda. Katodická ochrana je založena na zpomalení anodické reakce při posunu potenciálu v negativním směru, kov se stává korozně odolnějším v důsledku dosažení potenciálu, který termodynamicky odpovídá potenciálu rovnováhy mezi kovem a ionty v roztoku [Polák, 1992, str. 54].

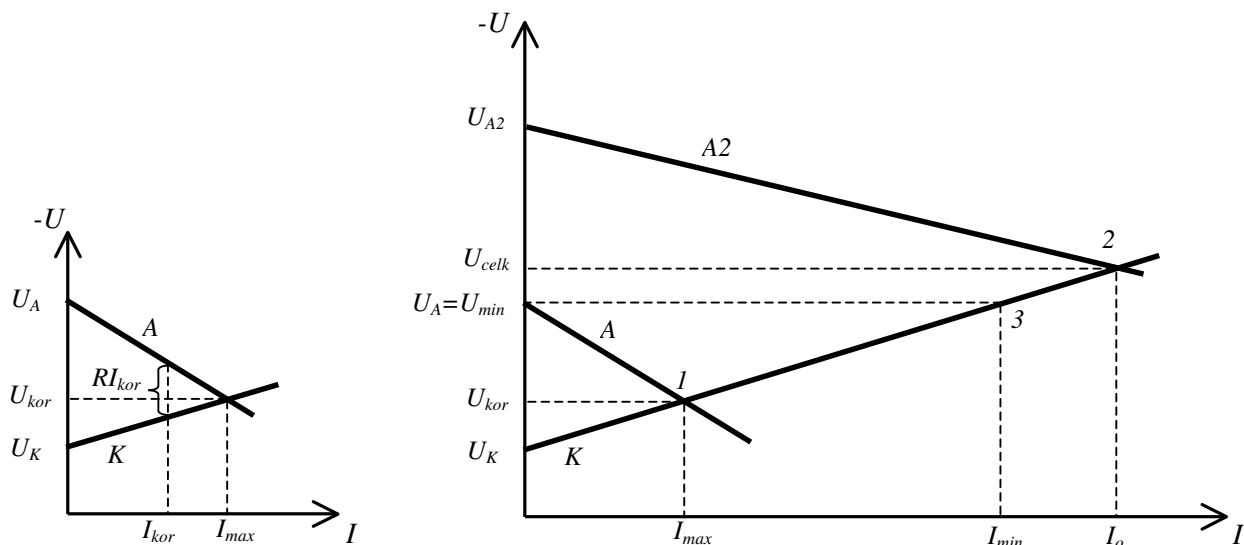
4.2.2.1 Katodická ochrana

Katodickou ochranou se docílí posun potenciálu chráněného zařízení k negativnějším hodnotám tak, aby byla koroze snížena pod technicky významnou mez. To může být provedeno podle obrázku 10 buď spojením chráněného kovu s kovem se zápornějším potenciálem nebo vnějším zdrojem proudu. (Veleta a kol., 1997, s. 328). Mezi těmito dvěma způsoby katodické ochrany není zásadní rozdíl, protože pro dosažení ochrany má v zásadě význam elektrický proud, bez ohledu na to jak vznikl [Černý, 1957, s. 6].



Obr. 10. Princip katodické ochrany

Pochody probíhající při katodické ochraně můžeme vyjádřit Evansovým diagramem. Je to korozní diagram sestavený z hlediska činnosti korozních článků tj. místně oddělených anodických a katodických míst.



a) korozní člunek bez katodické ochrany

b) korozní člunek s katodickou ochranou

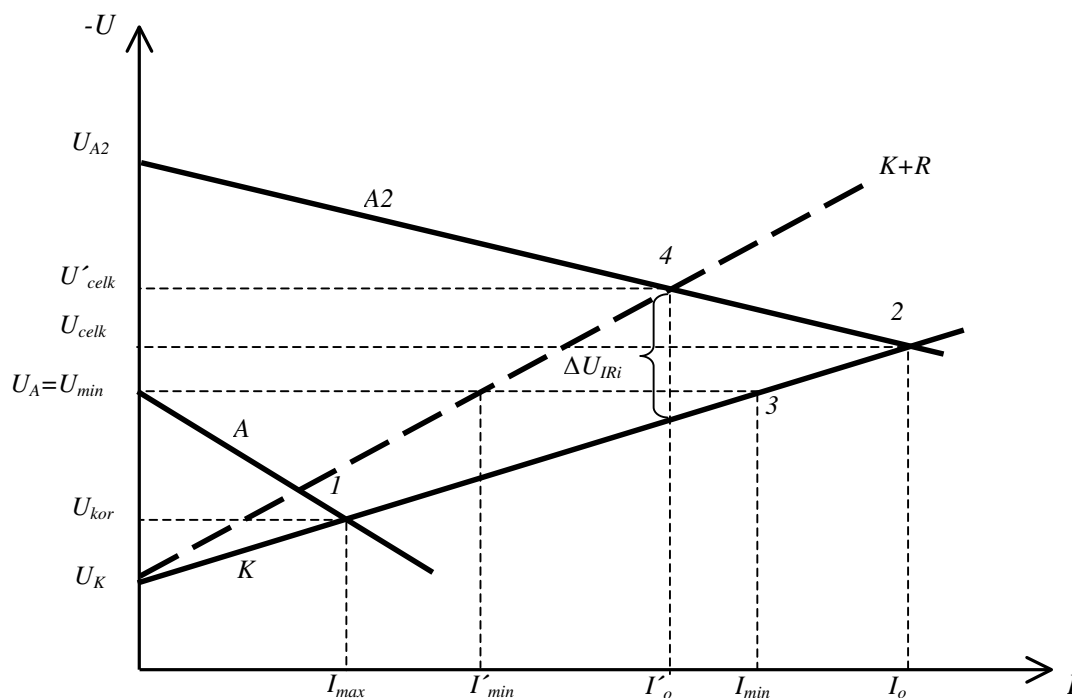
Obr. 11. Evansův diagram

Diagram na obrázku 11 a) znázorňuje korozní člunek bez katodické ochrany. Jako katodický redukční pochod zde probíhá reakce s nejkladnějším rovnovážným potenciálem U_K a s příslušnou křivkou katodické polarizace K . Reakce s rovnovážným potenciálem U_A a křivkou anodické polarizace A představuje vlastní korozní oxidační reakci. Oddělená anoda a katoda mají tedy v bezproudovém stavu potenciály U_A a U_K . Jsou-li tyto elektrody spojeny v korozní člunek, může jimi protékat maximální korozní proud I_{max} , při potenciálu U_{kor} . Vzhledem k ohmickému odporu R elektrolytu dochází k ohmické polarizaci děje, jež má hodnotu RI_{kor} . Tím se sníží rychlost koroze a korozní proud na hodnotu I_{kor} a potenciál anody a katody se rozliší o hodnotu RI_{kor} .

Na obrázku 11 b) je Evansův korozní diagram pro korozní člunek s katodickou ochranou. Pro zjednodušení nebudeme uvažovat spád napětí v elektrolytu RI_{kor} . Systém katodické ochrany je zde uvažován jako tříelektrodový systém, resp. jako tři možné reakce v systému. Jsou to katodická a anodická reakce popsané v předchozím odstavci a navíc zde probíhá další anodická oxidační reakce na obětované anodě. Tato reakce je vyznačena negativnějším rovnovážným potenciálem U_{A2} a křivkou polarizace $A2$. Soustavou pak bude protékat proud I_o , který odpovídá průsečíku 2 křivek katodické polarizace K a anodické polarizace $A2$ a zároveň určuje výsledný potenciál soustavy U_{celk} . Bod 3 určuje minimální ochranný proud I_{min} a minimální ochranný potenciál U_{min} , který je roven rovnovážnému potenciálu U_A , kdy na elektrodě právě prakticky končí korozní reakce [Černý, 1957, s. 6-7; Polák, 1992, s. 57-58; *Technický naučný slovník II. díl*, 1982, s. 95].

Míra ovlivnění koroze člunkem je ve vodivých prostředích významně závislá také na poměru ploch anodického a katodického kovu. Při spojení malé anody a velké katody je zesílení koroze maximální. Pokud je naopak anodický povrch velký (proti katodickému), pak urychlení koroze se projevuje jen málo [Novák, 2002]. Není-li na katodicky chráněném povrchu ochranný povlak (např. izolace

potrubí) odpovídá minimálnímu ochrannému potenciálu U_{min} , který je určen potenciálem U_A bod 3 na křivce katodické polarizace K , dosažený při minimálním ochranném proudu I_{min} .



Obr. 12. Evansův diagram pro vyjádření vlivu ochranného povlaku

Je-li na povrchu kovu ochranný povlak, vyznačující se určitým elektrickým odporem R_i , pak se u chráněného předmětu ustavuje zápornější potenciál U'_{celk} , snížený o pokles napětí ΔU_{IRi} při průchodu ochranného proudu póry ochranného povlaku. V Evansově diagramu na obr. 12 se to projeví vzrůstem hodnoty katodické polarizace ještě o hodnotu polarizace odporové. Výsledná polarizační křivka $K+R$ pak dosáhne hodnoty minimálního ochranného potenciálu již při proudu I'_{min} , který je nižší než původní minimální ochranný proud I_{min} . Je-li ochranný povlak prakticky nevodivý, pak katodická ochrana chrání pouze kov obnažený v místech, kde je poškozena ochranná vrstva. V tomto případě je tedy anodický povrch obětované anody výrazně větší než katodický povrch, který představuje obnažený kov v místě poškození izolace potrubí. V důsledku toho se rychlost koroze zmenší a i výsledný proud je podstatně nižší než u povrchu bez ochranného povlaku [Černý, 1957, s. 8-9; Novák, 2002; Polák, 1992, s. 58].

4.2.2.2 Kritéria katodické ochrany

Rychlost koroze kovu v půdě nebo ve vodě je funkcí potenciálu E materiálu v okolním prostředí. Potenciál kov – elektrolyt, při kterém je rychlost koroze menší než 0,01 mm za rok se označuje jako ochranný potenciál E_p . Tato rychlost koroze je dostatečně nízká na to, aby během projektované životnosti nemohlo dojít ke koroznímu poškození. Kritérium katodické ochrany je tedy:

$$E \leq E_p \quad (3)$$

Hodnota ochranného potenciálu není vždy stejná a závisí na více faktorech, především na chráněném materiálu, fyzikálních a chemických vlastnostech elektrolytu a na teplotě. Pro ocel je to záporné napětí min. $-0,85 \text{ V}$ [Polák, 1992, s. 79]. Kritérium ochranného potenciálu platí pro potenciál na rozhraní kov – elektrolyt, tj. pro potenciál bez IR spádu v korozním prostředí. IR spád je napětí, které je podle ohmova zákona vyvoláno průtokem proudu elektrolytem mezi referenční elektrodou a kovem zařízení ($U = I \cdot R$). U některých kovů může dojít ke koroznímu poškození při velmi záporných potenciálech. Pro takové kovy nesmí být potenciál zápornější než mezní kritický potenciál E_i . V těchto případech je kritérium katodické ochrany:

$$E_i \leq E \leq E_p \quad (4)$$

Například u tenkých izolací s odporem menším než $10^8 \Omega \cdot \text{m}^2$ může vlivem velmi záporných hodnot potenciálu dojít k poškození izolace (např. k puchýřování) nebo může docházet ke ztrátě přilnavosti v místech vad izolace u tlustých i tenkých izolací. Polarizační potenciály proto nemají být nižší než mezní kritický potenciál $E_i = -1,1 \text{ V}$, pokud výrobce izolace nestanoví jinou hodnotu [ČSN EN 12954, s. 10 a 12].

4.2.2.3 Ochrana obětovanou anodou

Jak je naznačeno na obrázku 10 a), chráněný kov se vodivě spojí s kovem, který má v daném prostředí zápornější potenciál než kov chráněný, čímž vznikne umělý galvanický člunek. Chráněný kov se tak stane katodou a připojený kov, který je méně termodynamicky ušlechtilý než kov chráněný se nazývá galvanická anoda nebo také obětovaná anoda nebo protektor, protože vznik proudu potřebného k ochraně je spojen s jejím rozpouštěním [Černý, 1957, s. 5; Polák, Veleta, 2002, s. 50 a 105]. Podle elektrochemické konvence proud tohoto článku teče od kladného pólu k zápornému, tzn. hořčíková korozní anoda se bude pozvolna rozpouštět a železo bude chráněno [Veleta a kol., 1997, s. 328].

4.2.2.3.1 Materiály galvanických anod

Výběr materiálu pro obětované anody je určován podmínkami, v jakých mají pracovat. Materiály podstatně více anodické než železo, vhodné k výrobě galvanických anod, jsou poměrně snadno dosažitelné. Praxe se omezuje na tři základní kovy a to hořčík, zinek a hliník, kterých se užívá ve formě slitin s legujícími prvky které zlepšují vlastnosti galvanických anod.

V půdách a ve sladkých vodách, kde je měrný odpor elektrolytu 10 až $60 \Omega \cdot \text{m}$, se používají nejvíce slitiny hořčíku. Hořčík má nejvyšší dosažitelný rozdíl potenciálu mezi obětovanou anodou a ocelovou konstrukcí, proto vzniká největší proud. V porovnání s jinými kovy má však kvůli vlastní korozi (tj. rychlost rozpouštění anody bez zatížení proudem) poměrně krátkou životnost – má nízkou účinnost, která nebývá větší než 50 %.

Zinek má výbornou účinnost při malých nákladech, dodává užitečný proud až 90 % z teoreticky vypočítané hodnoty podle zákona elektrolýzy a zbývajících 10 % ztráty zinku je vyvoláno elektrochemickými procesy probíhajícími na povrchu zinkových anod v důsledku nehomogenosti prostředí a složení anody tzv. lokálními galvanickými články vznikajícími ve styčné vrstvě anoda – elektrolyt. Zinkové anody se ale nepoužívají tak často jako hořčíkové. Jejich použití je omezeno měrným odporem elektrolytu do 20 $\Omega \cdot m$.

Na povrchu hliníku se za určitých okolností mohou vytvářet pasivační vrstvy, které by znemožnily použití hliníku jako galvanické anody. Přidáním vhodných legujících prvků (např. zinku) se tvorba těchto vrstev potlačí. Anody ze slitin hliníku mají velký význam pro chránění ocelových konstrukcí v mořské vodě (potrubí, plošiny pro těžbu ropy, plovoucí vrtací zařízení, trupy lodí apod.).

Účinnost a trvanlivost obětovaných anod závisí do značné míry na vlastnostech půdy, do níž jsou ukládány. K dosažení optimálních vlastností musí být anody uloženy ve speciálním obsypu, který slouží ke zvýšení hnacího napětí, snížení zemního odporu anody, snížení nežádoucích polarizačních jevů anody a k rovnoměrnému rozložení koroze na celý povrch anody. Výrobci anod dodávají tento obsyp v plátěném nebo jutovém pytli spolu s anodami [Kostadinov, 1983, s. 186; Polák, Veleta, 2002, s. 106-111, 119].

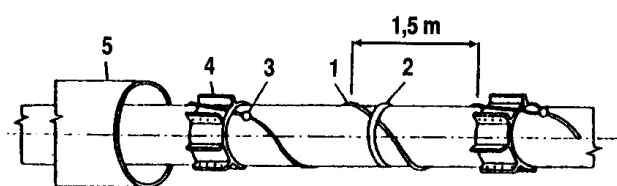
4.2.2.3.2 Příklady vhodného použití galvanických anod

Obětované anody lze výhodně použít tam, kde jsou proudové požadavky malé, chráněné konstrukce mají kvalitní ochranný povlak, je požadována lokalizovaná nebo částečná ochrana a měrný odpor půdy je poměrně malý (méně než cca 60 $\Omega \cdot m$). Galvanické anody představují zdroj ochranného proudu, který je nezávislý na vnějším zdroji energie a na údržbě, pouze zřídka může být zdrojem interference s jinými konstrukcemi a má malé pořizovací náklady. Proti těmto přednostem stojí naopak nevýhody dané omezeným hnacím napětím, nižším a omezeným výstupním proudem. Nelze je tedy použít pro ochranu holého nebo špatně izolovaného potrubí o velkém průměru. Také je někdy nutné po třech až pěti letech nahradit anody novými. [Černý, 1957, s. 16-17; Kostadinov, 1983, s. 192; Polák, Veleta, 2002, s. 115].

V zastavěných oblastech, např. v areálech elektráren, chemických a jiných závodů, v městské zástavbě apod. bývá použití stanic katodické ochrany s usměrňovačem a anodovým uzemněním problematické, hlavně kvůli odstranění interferenčních vlivů. V půdách s nízkým měrným odporem je proto výhodné použít galvanické anody z hořčíkové slitiny ve vodivém obsypu. Např. u dálkových potrubí bývá ochrana vnějším zdrojem proudu ukončena izolačním spojem na vstupu do závodu. Na úsek potrubí v závodu (pokud ovšem není vedeno nad zemí) bývá vhodné instalovat galvanické anody [Polák, 1992, s. 112; Veleta a kol, 1997, s. 330].

V zahraničí byly použity zinkové pásy k ochraně ocelového potrubí v chráničkách. Chráničky jsou ocelové trubky o větším průměru, které slouží k mechanické ochraně potrubí při jeho křížení s tratí a komunikacemi. Na potrubí byla bez přerušení navinuta pásková anoda, přičemž jeden závit připadal asi

na 1,5 m potrubí (obr. 13). Jádru zinkového pásu z ocelových drátů bylo pak po třech metrech přivařeno k potrubí. Pokud je prostor mezi chráničkou a potrubím suchý, funkce zinkového pásu jako anody se neuplatňuje. Pokud však do chráničky vnikne voda, automaticky proběhne elektrochemická reakce mezi zinkovou anodou a ocelovým potrubím. Zinek jakožto méně ušlechtilý materiál se rozpouští a chrání potrubí před korozí. Praxe ukazuje, že procento chrániček zatopených vodou je poměrně vysoké, proto se v některých případech nepoužívá chránička, ale mechanická odolnost je v místě křížení s komunikacemi zajištěna potrubím se silnější stěnou [Polák, 1992, s. 113-114; Veleta a kol, 1997, s. 324].

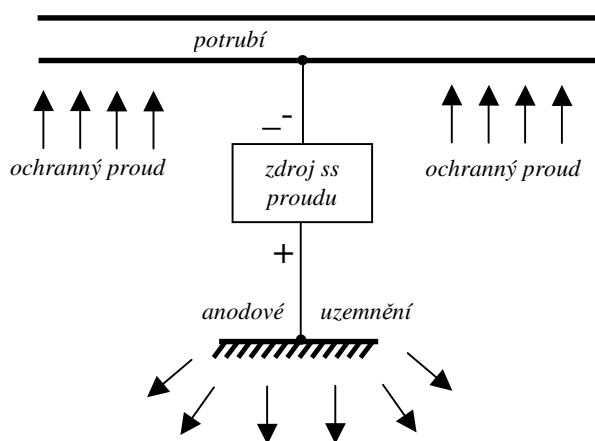


- 1 – pásková zinková anoda z jádrem z ocelového drátu
- 2 – příchytý pásek
- 3 – aluminotermický spoj po 3 m
- 4 – elektroizolační distanční prstenec
- 5 – ocelová chránička

Obr. 13. Ochrana potrubí uloženého v chráničce [Polák, 1992, s. 114]

4.2.2.4 Ochrana vnějším zdrojem proudu

Jak je naznačeno na obr. 10 b) a na obr. 14, vytvoří se elektrický obvod, jehož katodou je chráněná konstrukce a anodou pomocné elektrody připojené na kladný pól stejnosměrného zdroje napětí. Tím lze do značné míry řídit korozní pochod konstrukce, který je potlačen nebo snížen reakcemi na pomocných anodách [Polák, Veleta, 2002, s. 121].



Obr. 14. Principiální schéma katodické ochrany vnějším zdrojem proudu

4.2.2.4.1 zdroje napětí pro katodickou ochranu

V místech s možností napojení na elektrickou rozvodnou síť přichází jako zdroj ochranného proudu v úvahu především usměrňovač. Jednofázové usměrňovače jsou vhodné zhruba do výkonu 2 kW. Pro větší výkony jsou vzhledem k účinnosti vhodnější třífázové usměrňovače. Stejnosměrné napětí na

svorkách usměrňovače pro katodickou ochranu nesmí překročit přípustné hodnoty z hlediska bezpečnosti při práci na chráněné konstrukci – maximální výstupní napětí usměrňovačů v souladu s ČSN 33 2000 je 50 V [Kostadinov, 1983, s. 194; Polák, Veleta, 2002, s.124].

Přibližně od roku 1955, kdy se v ČSR začínalo s aplikací katodické ochrany, až do cca konce šedesátých let byly vyráběny pouze ručně řízené usměrňovače. Regulace se prováděla buď odbočkami na sekundární straně transformátoru, nebo autotransformátorem. Jednalo se např. o typy KUG-312, KUR-342, SUT-132, Recular 01 a další. Později se začaly používat automaticky řízené usměrňovače (např. typ T-2 a T-3, Recular 02, Recular 03). Nejznámější z nich byl Recular a řada z nich je dosud v provozu. Byl to regulátor napětí se dvěma tyristory na primární straně transformátoru a regulace probíhala v závislosti na potenciálu mezi referenční elektrodou (tj. potenciál půdy) a chráněnou konstrukcí. V současné době je na trhu celá řada usměrňovačů umožňujících jak ruční nastavení výkonu, tak automatické řízení. Regulace bývá buď tyristorová nebo elektronická (např. modul MOS-FET ve funkci spínače s pulzní šířkovou modulací a kmitočtem několika desítek kHz). Automaticky řízené usměrňovače lze s výhodou využít v korozních prostředích s proměnlivými fyzikálně – chemickými podmínkami (teplota, rychlost proudění, změna chemického složení) a se změnami cizího proudového pole (bludné proudy). [Lahovský, 1985, s. 145-147; Polák, 1992, s. 121-123; Polák, Veleta, 2002, s. 122-124].

Dalšími zdroji ochranného proudu mohou být termoelektrické generátory, které využívají jako zdroj energie dopravované médium (ropa, plyn) a používají se zejména v odlehlých oblastech. V letech 1962 až 1984 bylo instalováno více než 3000 těchto generátorů, především v oblasti Perského zálivu a v Jižní Americe. Jinými zdroji mohou být solární články nebo malé větrné generátory v kombinaci s akumulátory, jejichž použití je však možné pouze v určitých oblastech s dostatečným slunečním svitem resp. s trvalým větrem. V úvahu připadá taky motorgenerátor, který však vyžaduje pravidelnou obsluhu. Dosud je nejvhodnější použít klasický usměrňovač, ostatní zdroje se aplikují pouze výjimečně, např. pokud je nejbližší zdroj elektrické energie velmi vzdálený. [Černý, 1957, s.19; Polák, 1992, s.124-125; Polák, Veleta, 2002, s. 127].

4.2.2.4.2 Materiály pomocných anod

4.2.2.4.2.1 Ferrosilicium

Křemíková litina (ferrosilicium) obsahující minimálně 14 % křemíku je nejuniverzálnějším anodovým materiálem. Při anodické polarizaci v rozsahu provozně používaných proudových hustot (stovky A/m²) se tento materiál dostává prakticky do stavu pasivity a proud prochází především na úkor oxidace OH⁻ nebo Cl⁻. Tomu odpovídají jeho poměrně malé úbytky, které jsou 20 krát až 100 krát menší než u anod z uhlíkové oceli. Na povrchu vzniká stabilní vrstvička tvořená převážně oxidem křemičitým, který je odolný v říční vodě.

Nevýhoda těchto zemničů je, že jsou velmi křehké a často se lámou při nešetrném zacházení. Často je nutné opatřit anodu pláštěm z PVC, který ji chrání proti nárazům. Anodové zemniče se vyrábějí

ve tvaru válců v různých délkách a průměrech, často např. o délce cca 150 cm a průměru 4 až 8 cm. Celková hmotností bývá 10, 20, nebo 50 kg. Osvědčila se tzv. balená ferosilitová elektroda, která se dodává spolu s obsypem z černouhelného koksu, který je kolem elektrody uložen v děrovaném plechu. Vyrábějí se také válcové zemniče jejichž konstrukce dovoluje zapojovat je za sebou, např. do vykopané rýhy v zemi. Aplikují se ferosilitové tyče ukládané horizontálně do délek cca 150 m a vertikálně do hloubek několika desítek metrů. Obsyp ferosilitových anod je nejčastěji koksový [Kostadinov, 1983, s. 194; Polák, 1992, s.128-129; Veleta a kol., 1997, s. 331].

4.2.2.4.2.2 Nelegovaná (uhlíková) ocel

Nejlcacinějším materiálem pro anodové uzemnění jsou ocelové anody, obvykle kusy vyřazených trubek, litinových rour, kolejnic a podobně. Tyto anody jsou ukládány horizontálně od délek několika desítek metrů až po cca 200 m, obvykle do hloubky 2 m a používá se bentonitové obložení. Bentonit snižuje přechodový odpor trubka – půda, avšak při trvalé nepřítomnosti vody ztuhne a může parametry anody zhoršit. Oproti grafitovým elektrodám mají nevýhodu v asi desetkrát kratší životnosti, jejich kapacita v půdě se udává 10 kg/A/rok. Někdy lze jako pomocné anody použít staré opuštěné ocelové konstrukce a nestavět místo nich nové (staré paralelní potrubí jako rozptýlená anoda pro nové potrubí, opuštěné doky a štetové stěny v mořské vodě apod.). Pro zajištění dobré účinnosti uzemnění je výhodné spojit zemniče se zdrojem proudu na několika místech, např. na obou koncích. Tím je zajištěno že i při přerušení zemniče korozím proudem je zachována kvalita uzemnění [Černý, 1957, s. 19; Polák, Veleta, 2002, s. 129-130; Veleta a kol., 1997, s. 331; Viktorin, 1971, s. 68].

4.2.2.4.2.3 Grafit

K dosažení optimálních výsledků se grafit používá spolu s obsypem z hráškového koksu v plechových nebo ocelových tenkostěnných obalech. Grafitové anody je nutno impregnovat lněným olejem nebo parafinem, jejich životnost se tím prodlouží až o 50 %. Impregnací se především zabráňuje pronikání elektrolytu do trhlinek v anodě, což způsobuje oddolování elektrody dříve, než dojde k elektrochemické reakci. V půdě se grafitové anody používají zásadně v koksovém obsypu, v mořské vodě pak holé. Lze je použít i v pitné vodě, protože produkty reakcí jsou bez barvy a chuti a neobsahují těžké kovové ionty [Polák, 1992, s. 131].

4.2.2.4.2.4 Magnetitové elektrody

Magnetit je přírodní minerál (chemické složení Fe_3O_4 tedy železitan železnato – železitý $\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$), obsahuje až 72,4 % železa. Tento materiál je vyráběn slinováním, což umožňuje výrobu tyčí pouze kruhového průřezu (např. průměr 60 mm, délka 800 mm, hmotnost 6 kg). Vzhledem k termodynamické inertnosti je to materiál velmi trvanlivý, úbytek materiálu je asi 3000 krát menší než u železa. Elektrody jsou určeny do všech běžných korozních prostředí, tj. do půdy, do sladké i mořské vody [Polák, Veleta, 2002, s. 132].

4.2.2.4.2.5 Elektrody z drahých kovů

Na rozdíl od popsaných konvenčních materiálů, které lze charakterizovat jako elektrolyticky rozpustné (uhlíková ocel) nebo polorozpustné (ferrosilicium, magnetit, grafit), existuje skupina materiálů, které lze označit jako téměř nerozpustné. Jedná se o poplatinovaný titan, tantal a niob. Tyto pomocné anody lze zatěžovat velkým proudem, až 500 A/m^2 i více. Titan, tantal a niob vytvářejí oxidy „ventilového typu“ které nepropouštějí proud až do jisté hodnoty tzv. kritického potenciálu (u titanu +2 V, pro tantal +80 V a pro niob +50 V). Při překročení kritického potenciálu dochází k intenzivnímu bodovému napadení a rychlému zničení celé anody. Za normálních podmínek je proud veden z elektrody do elektrolytu pouze v místech, kde je nanesen platinový povlak. Vrstvu platiny lze také nanést jen na část povrchu a tím snížit vysokou cenu anody. Nepokovená část anody pak vytváří pasivní, elektricky nevodivou vrstvu a lze ji považovat za izolovaný vodič, který jen přivádí proud k účinné ploše. Vyšší cenu anod kompenzuje možnost využití jejich vysokého proudového zatížení, menší rozměry a dlouhá životnost [Polák, 1992, s. 131-132; Polák, Veleta, 2002, s. 133-134].

4.2.2.4.3 Příklady vhodného použití katodické ochrany vnějším zdrojem proudu

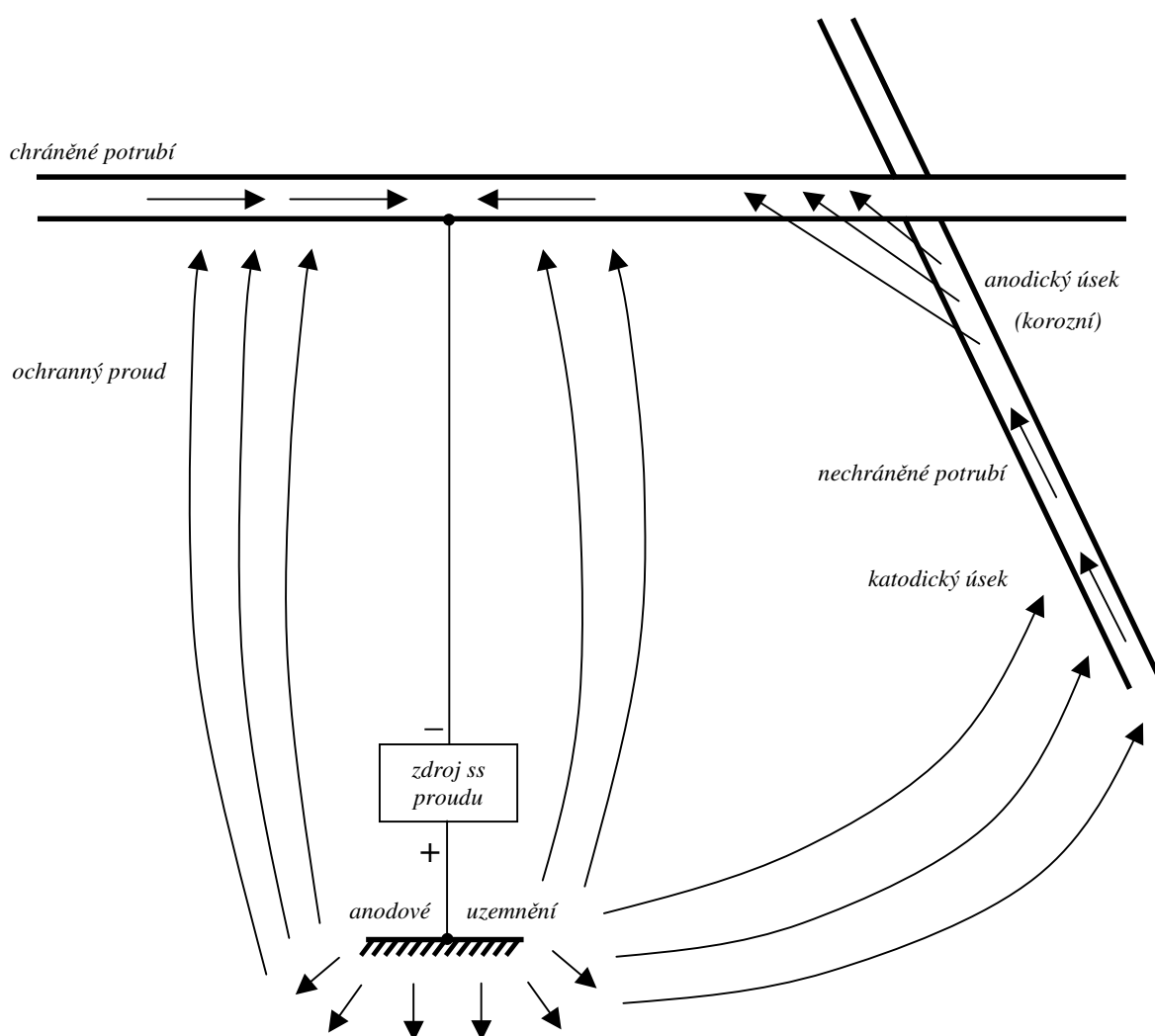
Katodická ochrana s vnějším zdrojem proudu se používá tam, kde rezistivita půdy je menší než $200 \Omega \cdot \text{m}$. Na důležitých potrubních systémech se používá i v půdách s vyšší rezistivitou, ale zde se nemusí podařit dosáhnout ochranného potenciálu. Po dlouhou dobu nebyla povolována ochrana elektrickými drenážemi. Proto se dálková potrubí chránila proti bludným proudům výhradně automaticky řízenými stanicemi katodické ochrany. Katodická ochrana ocelových nádrží uložených v zemi se běžně používá v petrochemickém průmyslu a také v plynárenství u nádrží na topné plyny, nebo u nádrží na pohonné hmoty. Předpokladem aplikace katodické ochrany je dobrá izolace.

V zastavěných oblastech je většinou zřízení katodické ochrany velmi obtížné. Samotná instalace katodické ochrany nebo drenáží není o nic složitější než na dálkových potrubích, hlavní problém spočívá v odstranění následných interferenčních vlivů. Aktivní ochrana je opodstatněná tam, kde jsou známy všechny úložné konstrukce a kde lze dodržet společnou ochranu, což obvykle nelze splnit ve starých částech měst, kde je mnoho úložných konstrukcí bez pasivní ochrany. Přesto byla plynárenskými specialisty aplikována aktivní ochrana na částech místních sítí v Ostravě, v Brně a v Praze a to za předpokladu částečné ochrany ve spolupráci s ostatními majiteli úložných zařízení s prioritou plynových potrubí [Polák, Veleta, 2002, s. 267; Veleta a kol., 1997, s. 328 a 330].

4.2.2.5 Interference při katodické ochraně

Jak je naznačeno na obr. 15, při katodické ochraně podzemních kovových konstrukcí prochází ochranný proud z uzemňovací anody zemí na povrch chráněné konstrukce – katody. Leží-li v cestě cizí kovové konstrukce, které nejsou připojeny na katodickou ochranu, vstupuje do nich část ochranného proudu a na jiném místě z nich opět vystupuje do půdy, aby se dostala k povrchu chráněné konstrukce. Tato část ochranného proudu je pro cizí konstrukce bludným proudem. Používá cizích konstrukcí k vedení proudu a v místech, kde z nich vystupuje (tj. v anodických oblastech), způsobuje jejich korozi.

Interferenční proud je pouze ta část stejnosměrného proudu, která vzniká v důsledku různých potenciálů galvanicky nepropojených liniových zařízení a protéká mezi nimi půdou, především v místech jejich křížení a souběhu [Polák, Veleta, 2002, s. 258].



Obr. 15. Příklad interference potrubí nepřipojeného ke společné katodické ochraně

Dalším příkladem je interference u izolačních spojů. Tato interference nastává v místech velkého gradientu potenciálu v elektrolytu, kde korozní proud obchází galvanicky izolovanou konstrukci

elektrolytem, takže při nesprávném návrhu konstrukce a uložení izolačního spoje nastává koroze na vnějším a v případě, že je potrubím vedeno elektricky vodivé médium i na vnitřním povrchu potrubí. Proto se u izolačních spojů vždy zřizuje měřicí a propojovací objekt s možností omezení těchto interferenčních proudů [Polák, 1992, s. 150; Polák, Veleta, 2002, s. 270].

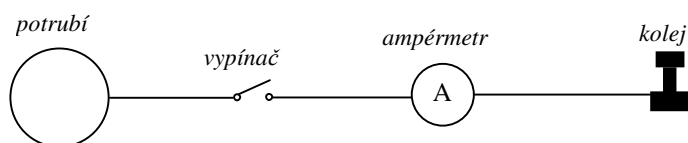
Z ochranných metod proti korozi interferenčními proudy se v praxi uplatňuje vhodné prostorové uspořádání (dostatečná vzdálenost od zdroje interference), zesílená pasivní ochrana (izolace, chráničky z nekovového materiálu v místě křížení apod.), doplňková aktivní ochrana (malé stanice katodické ochrany ke kompenzaci interferenčních proudů, galvanické anody) a interferenční propojky. Po položení potrubí do země zbývá obvykle jediná možnost – zřízení interferenční propojky [Polák, 1992, s. 352-353]. Propojovací objekt slouží k propojení dvou i více různých zařízení. Používá se pro měření potenciálu, umožňuje odstranění interference, může být doplněn i odporem pro regulaci velikosti procházejícího proudu. Aplikují se propojovací objekty u dvou různých potrubí nebo také u izolačních spojů a chrániček. Všechny typy těchto objektů se používají v nadzemním i zemním provedení [Veleta a kol, 1997, s. 324].

4.2.2.6 Ochrana proti bludným a interferenčním proudům

Při použití tzv. svodových metod, tj. elektrických drenáží jsou bludné proudy svedeny z kovové liniové konstrukce v anodické oblasti. Účinnost svodových metod je závislá na poměru ohmického odporu svodového zařízení k přechodovému odporu liniové konstrukce – země – koleje. Ochranná zařízení musí mít minimální vnitřní odpor a omezenou délku drenážního spojení.

4.2.2.6.1 Přímá elektrická drenáž

Přímá elektrická drenáž je v podstatě galvanické propojení úložného zařízení s kolejí (obr. 16). Nevýhoda je, že proud může protékat oběma směry, proto se tento typ drenáže již nepoužívá [Polák, Veleta, 2002, s. 259].



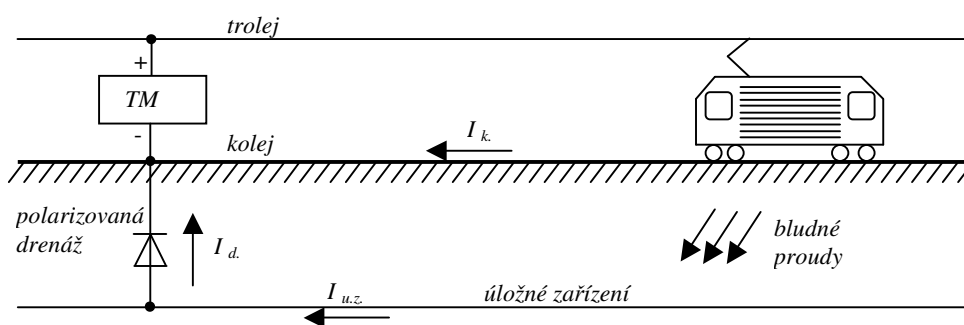
Obr. 16. Přímá elektrická drenáž

4.2.2.6.2 Polarizovaná elektrická drenáž

Je to v podstatě přímá drenáž doplněná o usměrňovač, který zamezí protékání proudu z koleje do úložného zařízení [Koudelka, 2003, s. 11]. Např. při vypnutí měničny se okamžitě stává úložné zařízení negativní vůči kolejím, pak je nutno aby bylo zabráněno toku proudu z kolejí do úložného zařízení (což by bylo v případě přímé drenáže možné). Pokud by tekla proud z kolejí do potrubí nebo kovového pláště kabelu, pak tato úložná zařízení by byla korozně ohrožena na jiných místech [Jansa,

Peleňský, 1983, s. 105; Viktorin, 1971, s. 66-67]. Tento typ drenáže byl nejčastěji používán zejména na dálkových potrubích. Odporem v drenážním obvodu se omezoval proud na přijatelnou mez. Některé typy drenáží mají elektronické obvody které automaticky, v závislosti na potenciálu, vřazují do obvodu určitý odpor a to buď ve stupních nebo plynule.

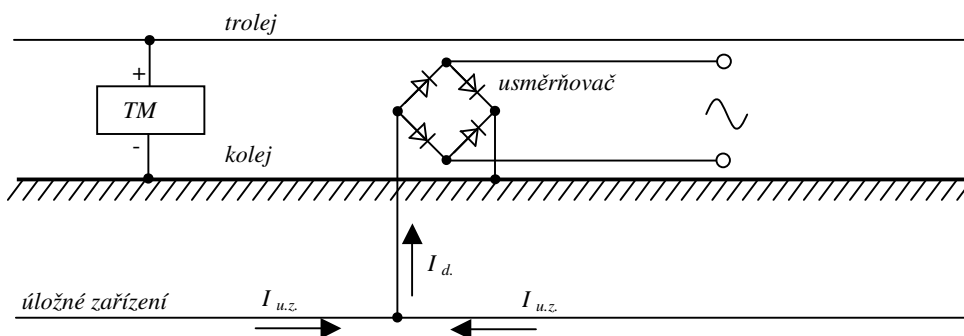
Jak je vidět z obr. 17, při průjezdu lokomotivy se celkový proud dělí na dvě složky, přičemž část tekoucí úložným zařízením se vrací k měničnické přes drenáž. Při průjezdu lokomotivy je tedy úložné zařízení katodicky chráněno. Po nedefinovanou dobu, mimo působení drenážního proudu, může nastat pokles potenciálu s kladným směrem a úložné zařízení pak není katodicky chráněno. Proto se někdy používá zesílená elektrická drenáž, resp. saturáž viz obrázek 18 [Polák, Veleta, 2002, s.260-261].



Obr. 17. Princip polarizované elektrické drenáže

4.2.2.6.3 Zesílená polarizovaná drenáž (saturáž)

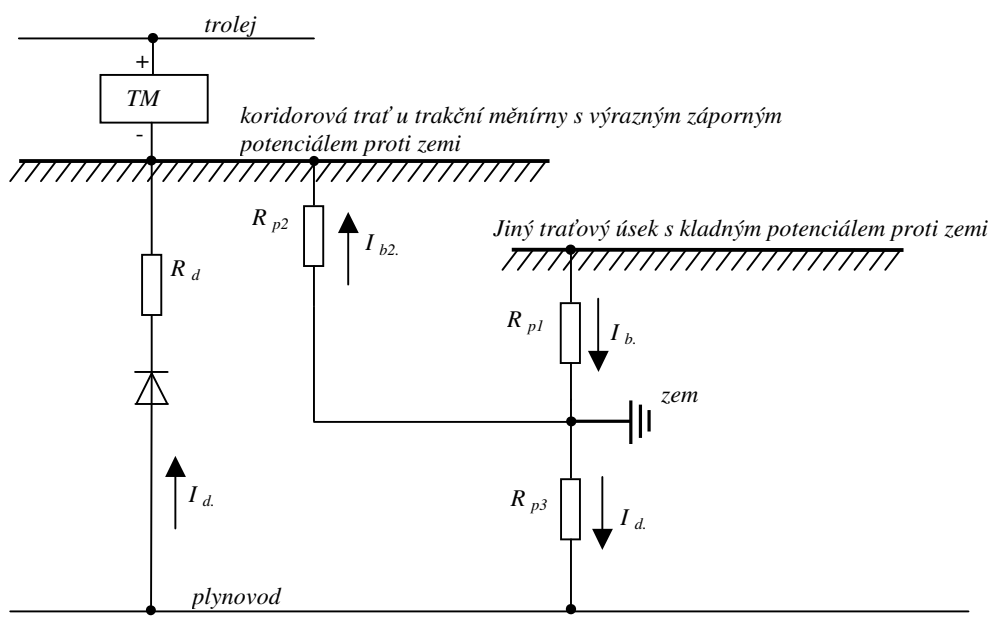
Užívá se tam, kde normální drenáž nestačí snížit potenciál anodického pásma úložného zařízení nebo tam, kde kromě bludných proudů působí i půdní koroze [Koudelka, 2003, s. 11]. Velikost celkového proudu v obvodu zesílené drenáže se volí tak, aby bylo dosaženo dostatečné ochrany potrubí. Zařízení funguje tak, že zdroj proudu je automaticky zapojen v době, kdy poklesne pod určitou hodnotu intenzita bludného proudu tekoucí drenáží. Pak zařízení pracuje jako stanice katodické ochrany kde kolej je anoda. Na trhu je několik modifikací tohoto zařízení jako mikropočítačově řízená saturáž, která řídí buď velikost protékajícího drenážního proudu nebo dodávku proudu z usměrňovače do chráněného zařízení v závislosti na úrovni měřeného ochranného potenciálu [Polák, Veleta, 2002, s. 262-263].



Obr. 18. Princip zesílené polarizované elektrické drenáže (saturáže)

4.2.2.7 Problematika drenáží na nových koridorových tratích

Jak bylo uvedeno v kapitole 4.1.1 této diplomové práce, přechodový odpor kolejí proti zemi je u nových koridorových tratí případně u rekonstruovaných tratí značně vysoký, okolo 100 $\Omega \cdot \text{km}$ i více. To s sebou nese některé negativní důsledky na drenážní zařízení. Příkladem může být polarizovaná drenáž plynovodu firmy Transgas ve Studénce, která byla zničena následkem zvýšení drenážního proudu po rekonstrukci tratě.



R_d – drenážní odpor plynovodu včetně odporu drenážního vodiče

R_{p1} – přechodový odpor traťového úseku s kladným potenciálem proti zemi

R_{p2} – přechodový odpor traťového úseku v blízkosti měničny proti zemi

R_{p3} – přechodový odpor plynovodu proti zemi

I_b – celkový bludný proud

I_d – drenážní proud

I_{b2} – část bludného proudu vracející se zemí zpět do trakční měničny

Obr. 19. Zjednodušené náhradní schéma rozložení odporů elektrizované trati, plynovodu a drenážního zařízení

Jak je vidět z obrázku 19, před rekonstrukcí tratě vstupoval do potrubí v katodických úsecích celkový bludný proud I_b a to v závislosti na přechodovém odporu R_{p3} . V blízkosti trakční měničny se proud I_b vracel zpět do měničny jednak přes polarizovanou drenáž (proud I_d) a jednak přes přechodový odpor R_{p2} v blízkosti trakční měničny (proud I_{b2}). Před rekonstrukcí tratě dosahoval odpor R_{p2} hodnot maximálně jednotek $\Omega \cdot \text{km}$ a byl řádově srovnatelný s odporem R_{p3} . Po rekonstrukci se přechodový odpor R_{p2} zvýšil na desítky až stovky $\Omega \cdot \text{km}$, což mělo za následek významné omezení původních bludných proudů I_{b2} přitékajících k měničně. Návrat bludného proudu byl vzhledem k vysokému přechodovému odporu kolejí proti zemi R_{p2} omezen natolik, že téměř veškerý bludný proud se vracel zpět přes

nezměněný drenážní odpor R_d , což mělo za následek tepelnou destrukci zařízení elektrické drenáže [Matouš, 2009, s. 2-5].

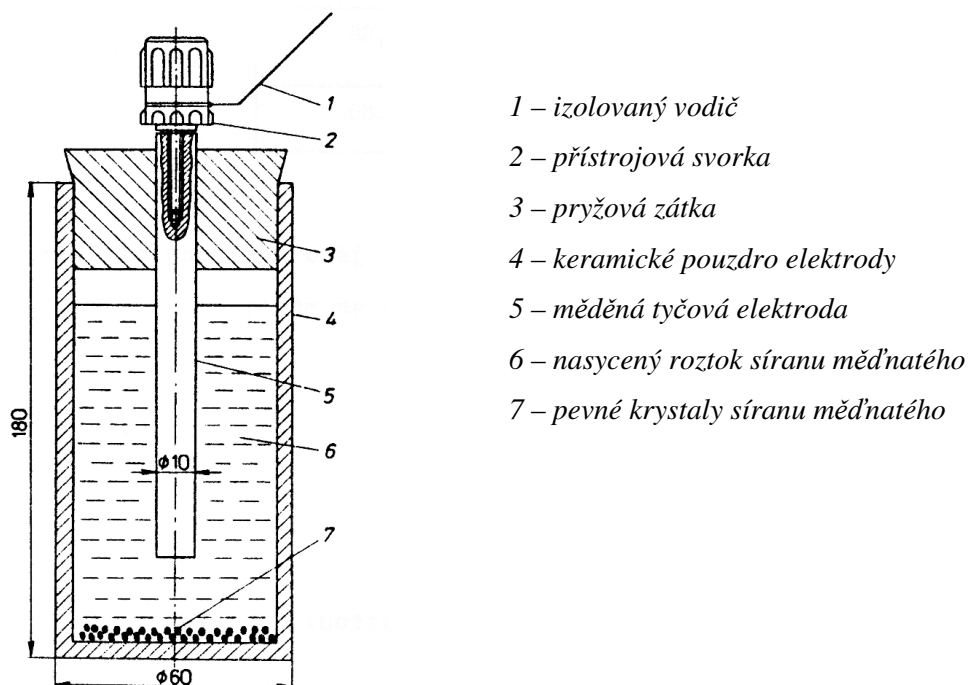
5 Měření na vybraném objektu

5.1 Použité vybavení

5.1.1 Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO₄

Měření elektrochemických potenciálů vyžaduje vhodné referenční elektrody, tj. elektrody, jejichž potenciál je za daných podmínek známý, při průchodu proudu se nemění a změna potenciálu s časem je prakticky nulová. Jako standardní byla zvolena vodíková elektroda, ke které se vztahují používané referenční elektrody. Normální vodíková elektroda se skládá z platinové elektrody ponořené do roztoku o $\text{pH} = 1$ a stále syceného čistým vodíkem pod tlakem 0,1 MPa. Její potenciál byl konvencí stanoven nula. Nehodí se však pro měření v terénu, proto se používají různé referenční elektrody, které mají vlastní potenciál vůči této standardní vodíkové elektrodě.

Měděná elektroda s roztokem síranu měďnatého (CuSO₄), jejíž potenciál vůči normální vodíkové elektrodě je při 20°C +0,31 V se používá především k měření potenciálu podzemní kovová konstrukce – půda. Pro měření v otevřených systémech jako jsou ocelové konstrukce jezů, trupy ponorných čerpacích stanic apod. se používá v ponorné úpravě [Polák, 1992, s. 170-172]. Příklad měděné referenční elektrody je na obrázku 20. Keramické pouzdro elektrody zaručuje, díky své pórovitosti, elektricky vodivý kontakt mezi elektrodou a půdním elektrolytem.

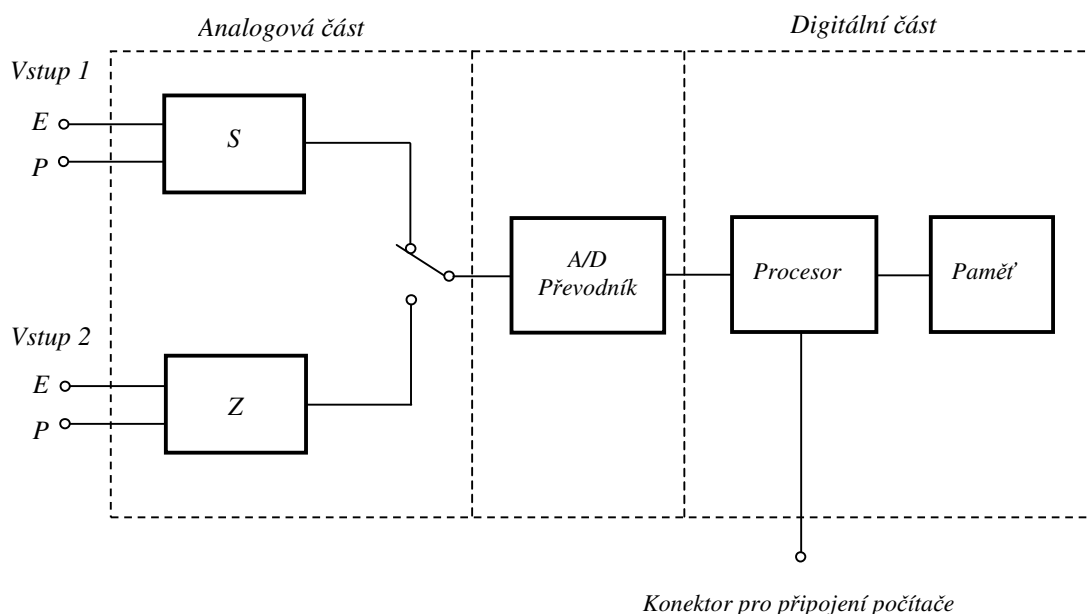


Obr. 20. Přenosná měděná referenční elektroda [Polák, 1992, s. 172]

5.1.2 Systém Korodat

Bludné proudy ze stejnosměrně elektrizované kolejové dopravy mění svou velikost i směr v čase. Proto je třeba při měření v terénu používat registrační přístroje. Registrační přístroje jsou mimořádně cenné tehdy, lze-li pozorovat kolísání potenciálu potrubí a proudu potrubím protékajícího. Pořídí-li se záznamy, z nichž vyplývá velikost tohoto kolísání v období 24 hodin nebo i více, lze z nich odvodit četné informace o pravděpodobném zdroji bludných proudů i o závažnosti jejich působení na úložné konstrukce. Tyto záznamy poskytují mnohem více informací než odečty na běžných měřicích přístrojích, které nemohou podat ucelený obraz o působení bludných proudů [Polák, Veleta, 2002, s. 181].

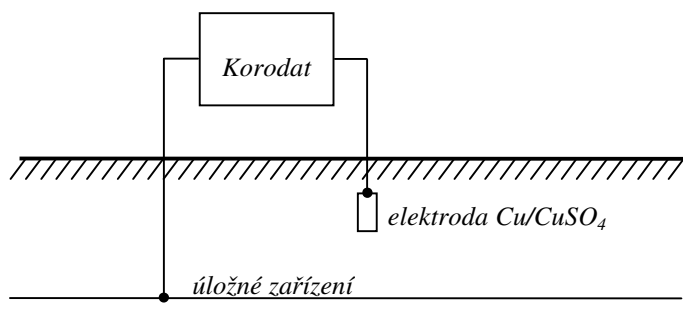
Systém Korodat je určen pro měření potenciálů a proudu při korozním průzkumu. Systém Korodat – 4 sestává z elektronického záznamníku KD – 4, servisního modulu KM – 4 s LCD displejem pro indikaci naměřených hodnot a osobního počítače se speciálním programovým vybavením pro vyhodnocení a archivaci naměřených hodnot. Záznamník KD – 4 je mikroprocesorem řízený elektronický záznamník, který umožňuje nepřetržité měření a záznam po dobu až 2 měsíce. Pomocí záznamníku lze měřit a registrovat například potenciál úložná konstrukce – půda, polarizační potenciál, proudové pole (přepočtem napětí mezi dvěma elektrodami), pomocí vnějšího bočníku libovolný proud a pomocí vnějšího děliče libovolné napětí (výstupní napětí usměrňovače stanice katodické ochrany apod.). Záznamník lze ovládat buď pomocí připojeného počítače přes sériovou linku RS 232 nebo ze servisního modulu KM – 4 [Novotný, Rada, 1995, s. 1].



Obr. 22. Blokové schéma zařízení přístroje Korodat

Korodat sestává z analogové a digitální části. Principiální schéma je zobrazeno na obrázku 22. *Vstup 1* je určen pro měření potenciálu, *vstup 2* pro měření proudu. K určení korozního stavu úložných konstrukcí se nejčastěji měří potenciál potrubí – půda na trase potrubí a ve stanici katodické ochrany. Při

měření potenciálu je Korodat zapojen podle obrázku 23. Korodat se kabelem spojí s měřenou konstrukcí a referenční elektrodou v čase, který je zapsán do paměti při inicializaci a začne měřit. V činnosti je blok S, který obsahuje ochranný obvod, dělič, sledovač a integrační článek. Ochranný obvod zamezuje poškození elektronických součástek při průniku přepětí z připojené konstrukce. Sledovač zajišťuje vysoký vstupní odpor ($10\text{ M}\Omega$) a integrační článek zajišťuje měření střední hodnoty potenciálu.



Obr. 23. Zapojení přístroje Korodat pro měření a registraci potenciálu potrubí – půda

Při měření proudu je v činnosti blok Z, který obsahuje ochrany, bočníky pro měření proudu, přepínač rozsahu a zesilovač s integračním článkem. V tomto případě se vstupní svorky Korodatu zapojí mezi měřenou konstrukci a pomocnou ocelovou elektrodu jako běžný ampérmetr a na přístroji se nastaví příslušný proudový rozsah. Úbytek napětí na bočníku se zesiluje a integruje operačním zesilovačem na úroveň potřebnou ke zpracování v analogově/digitálním převodníku. Na vstup převodníku je přivedeno napětí, jehož velikost je úměrná střední hodnotě měřeného proudu.

Digitální část je u Korodatu – 4 spojena s analogovou přes 12 bitový A/D převodník. Digitální část obsahuje 8 bitový mikropočítač 80CL31, který je řízen programem uloženým v paměti EPROM a trvale napájené paměti RAM. Naměřené hodnoty jsou ukládány do paměti RAM. Do paměti je rovněž zaznamenán počet naměřených hodnot mimo rozsah [Novotný, Rada, 1992, s. 193; Novotný, Rada, 1993, s. 227-228; Novotný, Rada, 1995, s. 2-3].

Z potenciálových a proudových měření, která se většinou provádí v sekundových intervalech jsou získány průkazné statistické soubory pro každý měřicí bod. Pomocí programového vybavení lze pak naměřené hodnoty vyhodnotit jako statistiku a histogram a jako grafický průběh potenciálu nebo proudu v závislosti na čase. Získané hodnoty lze pak využít pro zhodnocení korozní situace, nastavení zařízení aktivní protikorozní ochrany, tvorbu korozní mapy, normativní účely apod. [Laníček, Matouš, Černovský, 1997, s. 82].

5.2 Popis měřeného objektu

Předmětem měření byl korozní průzkum na elektrizované trati Strančice – Praha Hostivař s následným vyhotovením protokolu z měření. Měření spočívalo ve snímání potenciálu úložných zařízení proti referenční síranoměďnaté elektrodě umístěné v zemi. Při měření nebyly porušeny bezpečnostní závěry (plomby) a měření bylo provedeno se souhlasem objednatele předmětu korozního měření.

Úložná zařízení v rodinných domcích v obci leží ve většině případů v nepříznivé anodické oblasti, kde v minulosti bývaly problémy s elektrochemickou korozí. Plynová a ostatní kovová potrubí mohou být při průchodu vlhkou zdí, nebo v případě poškozené izolace, ohrožena bludnými proudy. V případě, že proud vychází z úložných zařízení do půdního elektrolytu (popř. do zdiva), dochází v tomto místě k elektrolytické korozi s rizikem perforace kovového potrubí.

Potrubí na kterých bylo provedeno měření jsou katodicky chráněné a měření bylo prováděno preventivně ke zjištění, zda je stanice katodické ochrany správně nastavena a plynovodní potrubí jsou dostatečně katodicky chráněna.

5.2.1 Podmínky při měření

teplota vzduchu:	24 °C
půda:	vlhká
provoz:	běžný trakční provoz

5.2.2 Seznam a rozmístění měřicích bodů

Tab. 2. Rozmístění měřicích bodů

Měřicí bod	Poloha měřicího bodu	Provedené měření
MB 1	Praha Uhřetěves, Kašovická 907, hlavní uzávěr plynu	potenciál vůči Cu/CuSO ₄
MB 2	Praha Uhřetěves, Kašovická 728/2, hlavní uzávěr plynu	potenciál vůči Cu/CuSO ₄
MB 3	Praha Uhřetěves, Lnářská 540, hlavní uzávěr plynu	potenciál vůči Cu/CuSO ₄
MB 4	Praha Uhřetěves, Lnářská, trakční kolej	potenciál vůči Cu/CuSO ₄

Byly provedeny celkem čtyři měření v Praze – Uhřetěvesi. Tři měření se týkaly měření potenciálu plynovodní přípojky a jedno potenciálu trakční koleje vůči referenční Cu/CuSO₄ elektrodě. Číselné hodnoty sledovaných veličin byly měřeny, zaznamenány a vyhodnoceny záznamníky a programem Korodat. Naměřené hodnoty z Korodatu byly dále zpracovány programem MS Excel, kde také byly vykresleny grafy. Měřicí přístroje použité při měření byly ověřeny (kalibrovány) podle Metrologického řádu Správy železniční dopravní cesty (SŽDC).

5.3 Naměřené hodnoty

Začátek měření: 16. 11. 2011 9:00 hodin
Konec měření: 16. 11 2011 11:05 hodin

Tab. 3. Limitní a průměrné hodnoty potenciálu v jednotlivých měřicích bodech

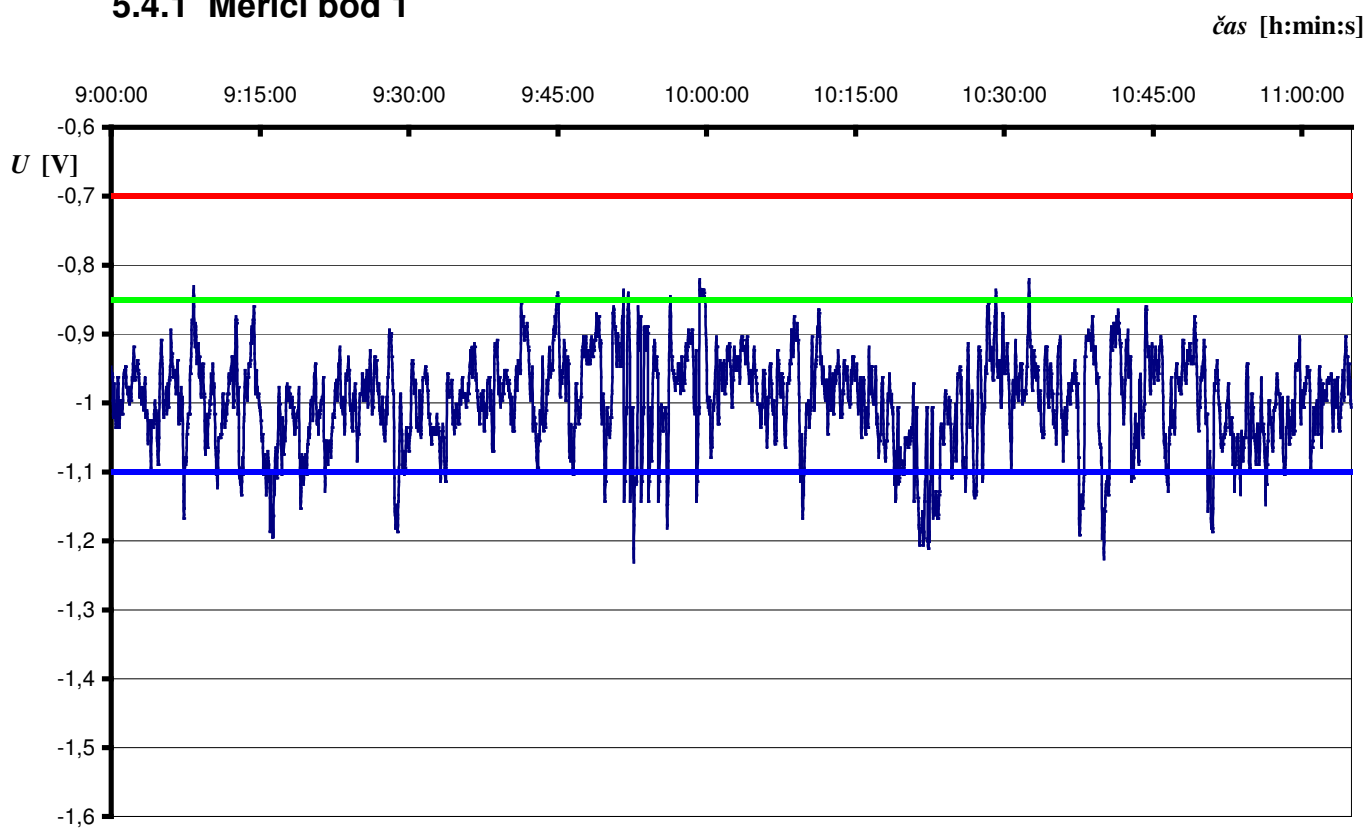
	Měřicí bod 1	Měřicí bod 2	Měřicí bod 3	Měřicí bod 4
Minimální hodnota potenciálu	-1,231 V	-1,080 V	-1,223 V	-19,996 V
Maximální hodnota potenciálu	-0,820 V	-0,686 V	-0,911 V	+16,555 V
Průměrná hodnota potenciálu	-0,997 V	-0,824 V	-1,0336 V	-11,715 V

Tab. 4. Výpis hodnot z histogramu

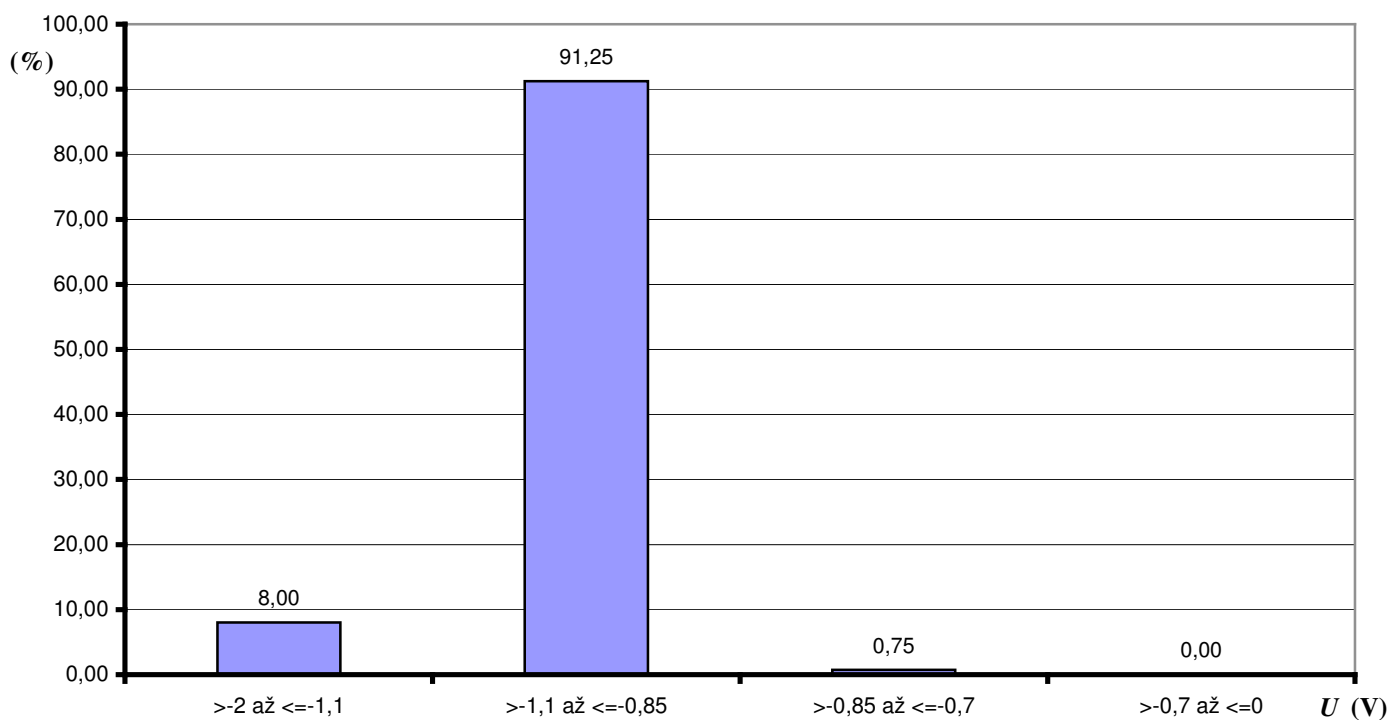
	Poměrné rozložení potenciálu (%)				
Potenciál potrubí	Potenciál koleje	Měřicí bod 1	Měřicí bod 2	Měřicí bod 3	Měřicí bod 4
≥ -2 až $\leq -1,1$	≥ -20 až ≤ -15	8,00	0,16	8,03	16,61
$> -1,1$ až $\leq -0,85$	> -15 až ≤ -10	91,25	21,48	91,97	58,61
$> -0,85$ až $\leq -0,7$	> -10 až ≤ -5	0,75	78,51	0,00	18,04
$> -0,7$ až ≤ 0	> -5 až ≤ 0	0,00	0,01	0,00	3,99
	> 0 až ≤ 5				1,79
	> 5 až ≤ 10				0,68
	> 10 až ≤ 15				0,24
	> 15 až ≤ 20				0,05

5.4 Grafy

5.4.1 Měřicí bod 1

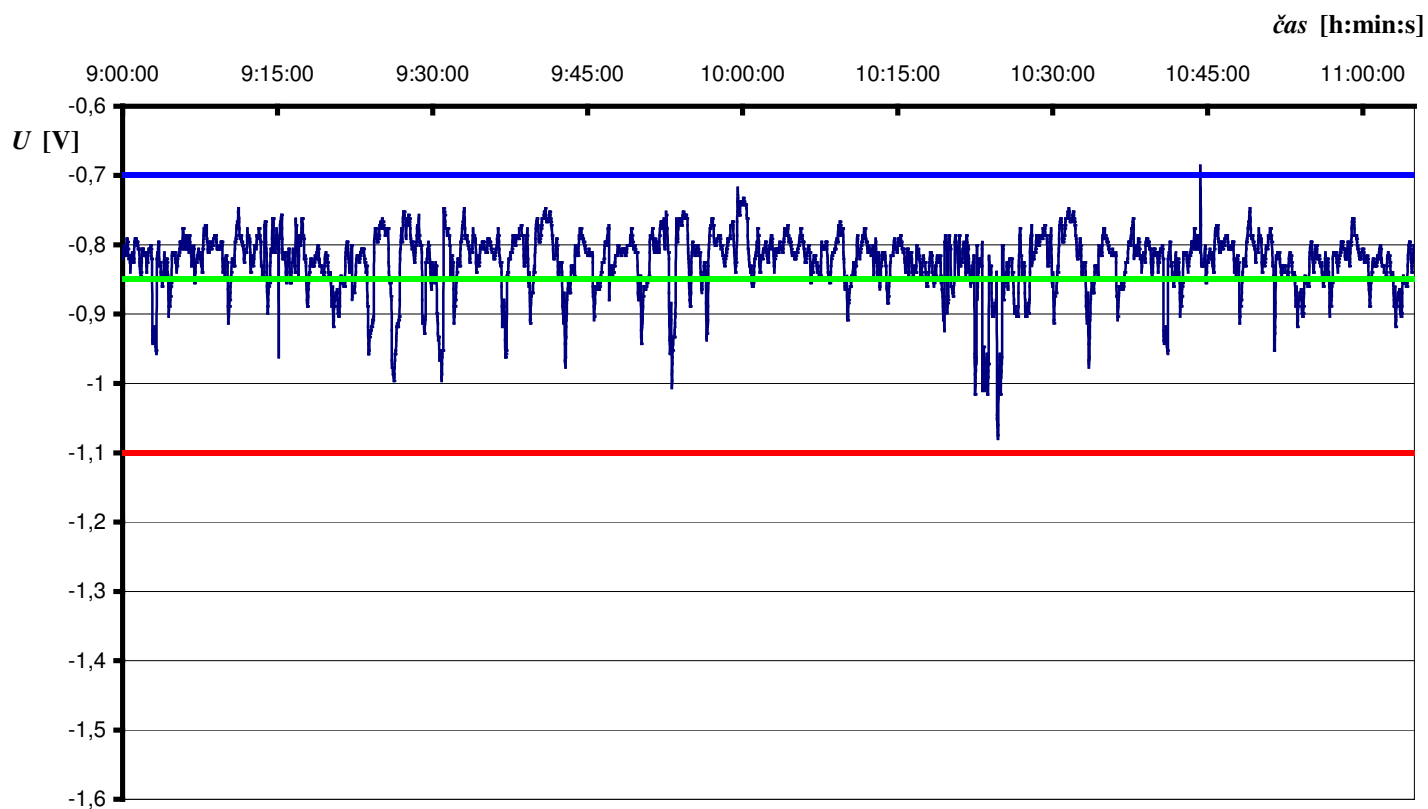


Obr. 21. Průběh potenciálu měřicího bodu 1

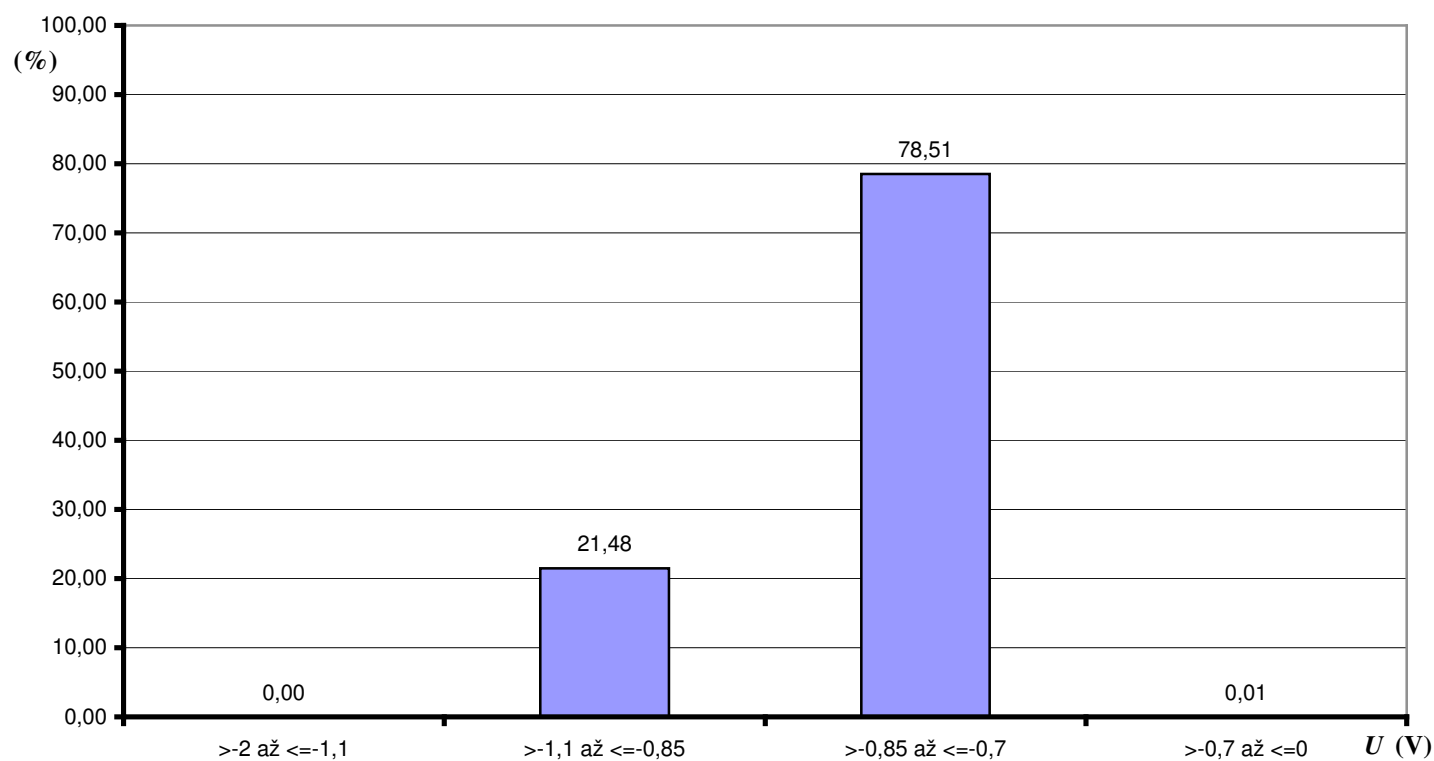


Obr. 22 Histogram z měření potenciálu – měřicí bod 1

5.4.2 Měřicí bod 2

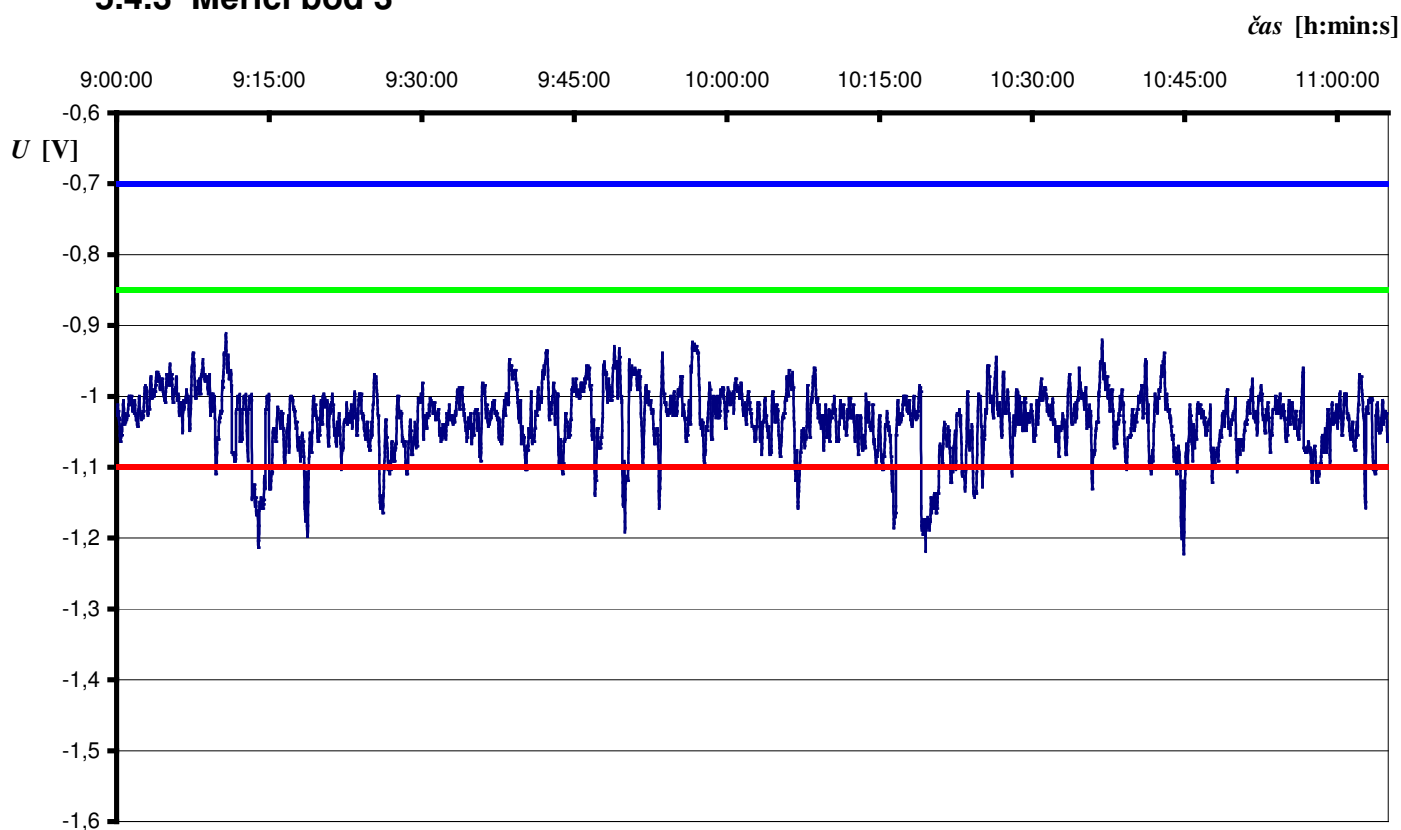


Obr. 23. Průběh potenciálu měřicího bodu 2

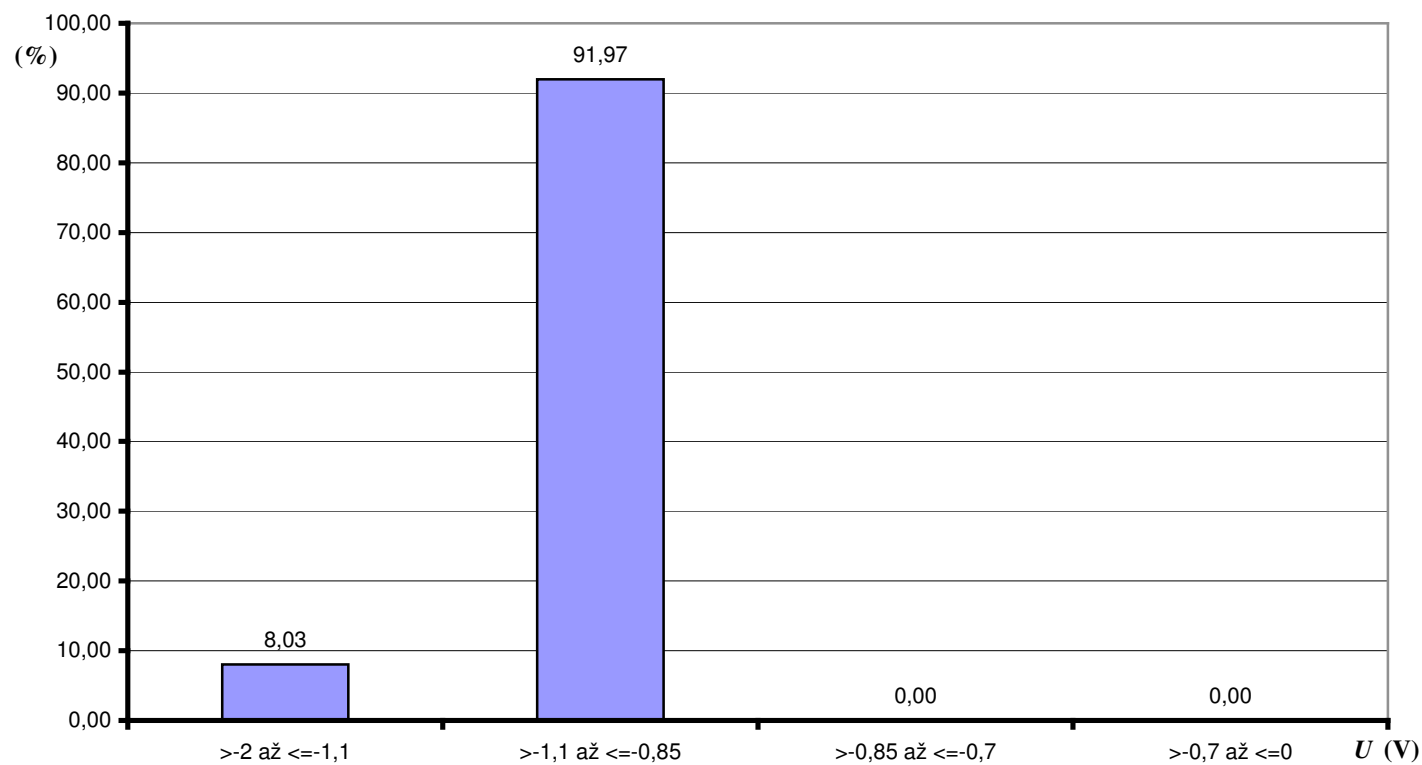


Obr. 24. Histogram z měření potenciálu – měřicí bod 2

5.4.3 Měřicí bod 3

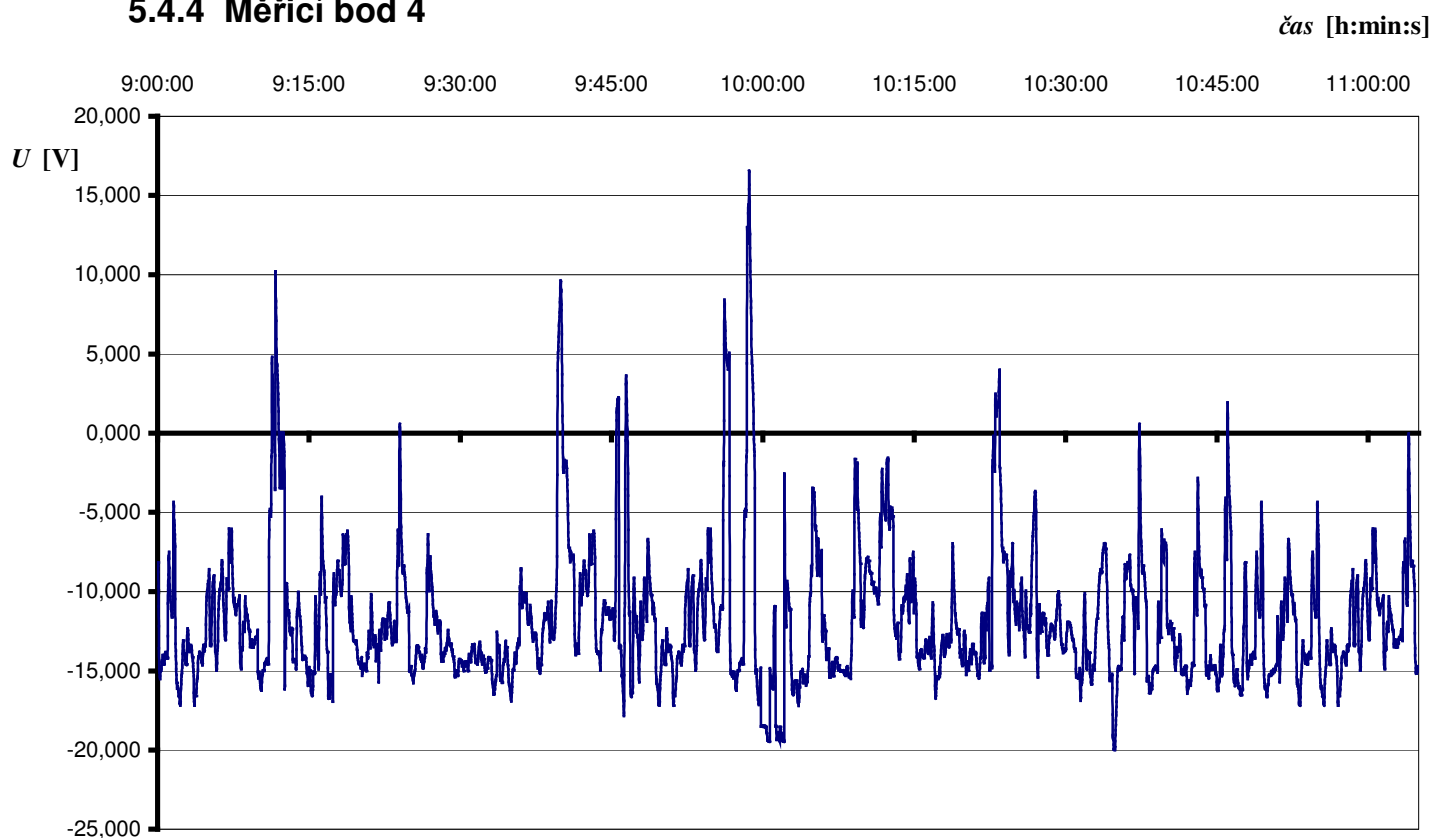


Obr. 25. Průběh potenciálu měřicího bodu 3

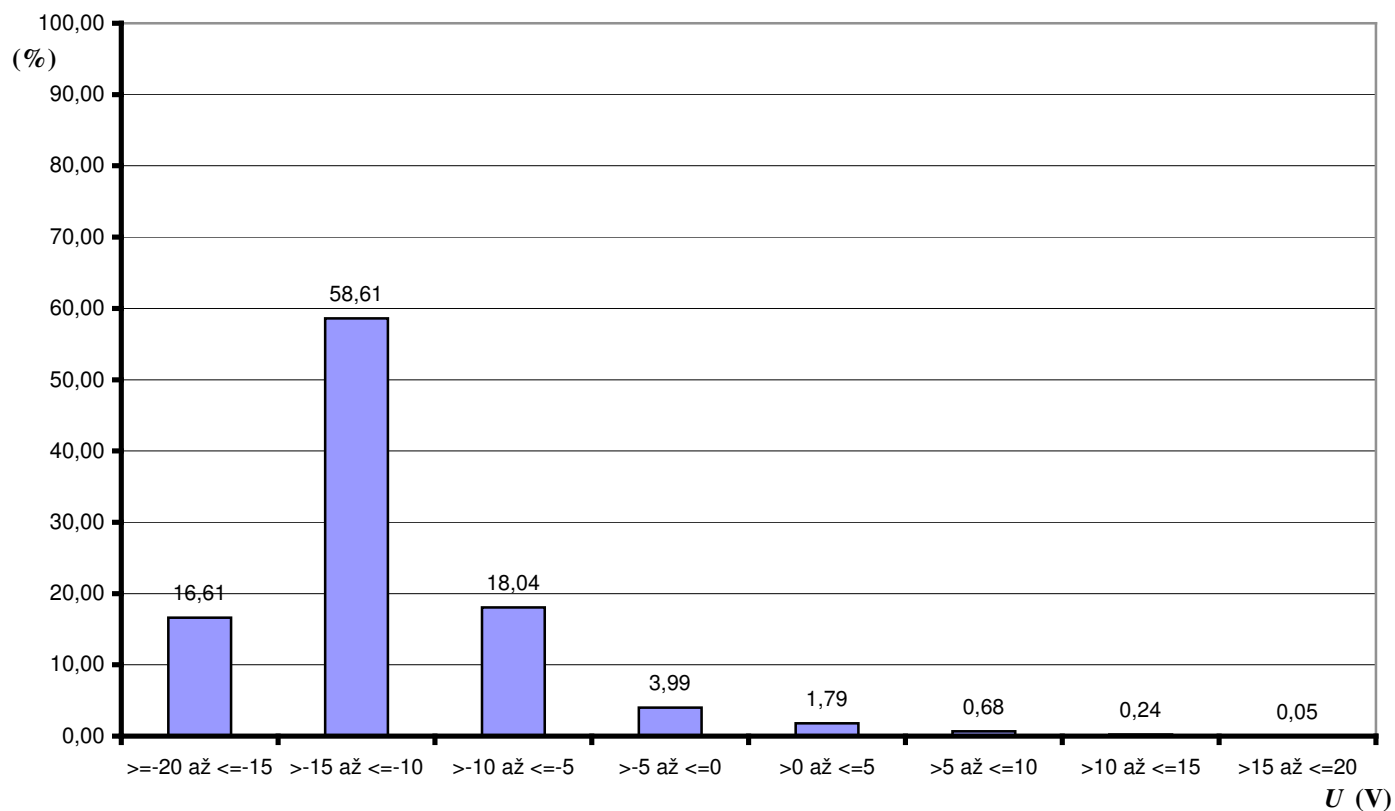


Obr.26. Histogram z měření potenciálu – měřicí bod 3

5.4.4 Měřicí bod 4



Obr. 27. Průběh potenciálu měřicího bodu 4



Obr. 28. Histogram z měření potenciálu – měřicí bod 4

5.5 Vyhodnocení měření

Na grafech průběhů potenciálů měřicích bodů 1 až 3 jsou vyznačeny tři úrovně potenciálu. Jsou to potenciály $-1,1$ V, což je mezní kritický potenciál E_i dle normy ČSN EN 12954. Úložná zařízení by neměla mít potenciál zápornější než $-1,1$ V, protože zápornější potenciály s sebou mohou nést negativní důsledky na izolaci potrubí (viz kapitola 4.2.2.2). Dále je vyznačen ochranný potenciál $E_p = -0,85$ V. Pokud je naměřen potenciál zápornější než $-0,85$ V je zařízení dostatečně katodicky chráněno. Nejkladnější vyznačená hodnota ochranného potenciálu $E_p = -0,7$ V označuje kritérium částečné katodické ochrany. [Polák, Veleta, 2002, s. 64 a 69]. Tyto tři hodnoty potenciálu pomohou lépe analyzovat korozní ohrožení měřených úložných zařízení.

Z obrázku 21 můžeme vidět, že potenciál měřicího bodu 1 je po většinu doby v rozmezí $-1,1$ až $-0,85$ V. Totéž je vidět z histogramu na obrázku 22 a sice, že 91,25 % naměřených hodnot leží v tomto rozmezí. To znamená, že potrubí je po většinu času dobře katodicky chráněno. Jen 0,75 % naměřených hodnot je kladnějších než $-0,85$ V, potrubí je v tomto čase částečně katodicky chráněno. 8 % naměřených hodnot je zápornějších než $-1,1$ V, což znamená, že je potrubí tzv. přechráněno a mohlo by to mít negativní účinky na izolaci potrubí. Řešením by bylo omezit intenzitu proudu ze stanice katodické ochrany. To by ovšem zase mohlo mít negativní účinek na ochranu potrubí, protože by bylo po delší dobu jen částečně katodicky chráněno.

U měřicího bodu 2 je vidět, že potrubí je po většinu doby (78,51 %) jen částečně katodicky chráněno (viz obrázek 23 a 24). V jednom místě je potenciál i $-0,686$ V, což je kladnější než $-0,7$ V. V tomto čase tedy není potrubí katodicky chráněno. Po 21,48 % doby je potrubí dobře katodicky chráněno, protože potenciál je zápornější než $-0,85$ V. K přechránění v tomto případě nedošlo po celou dobu měření.

Měřicí bod 3 je dobře katodicky chráněn, což je vidět z grafů na obrázcích 25 a 26. V 8,03 % doby je dokonce přechráněno. Zde by pomohlo snížení intenzity proudu ze stanice katodické ochrany. Vzhledem k tomu, že potenciál potrubí je příliš nízký a žádná ze změřených hodnot není kladnější než $-0,85$ V, bylo by možné snížit intenzitu proudu z katodické ochrany bez rizika zhoršení účinku katodické ochrany tohoto potrubí.

Úložná zařízení ležící v obci se ve většině případů nacházejí v nepříznivé anodické oblasti. Jak je vidět z průběhu potenciálu koleje na obrázku 27 a z histogramu na obrázku 28, potenciál koleje je po většinu doby záporný – jeho průměrná hodnota je $-11,715$ V. Na grafu průběhu potenciálu v koleji jsou viditelné špičky zasahující do kladných hodnot. Ty svědčí o průjezdech elektrických lokomotiv. Jak bylo pojednáno v kapitole 3.2.2.1 a jak je patrné z obrázku 7, potenciál koleje je v blízkosti trakční měřírny záporný. Oblast kladného potenciálu koleje se mění s polohou elektrické lokomotivy, proto lze z grafu průběhu potenciálu v koleji na obrázku 27 určit čas průjezdu elektrických lokomotiv podle kladných špiček potenciálu. Lokomotivy tedy projížděly, podle nejvýraznějších kladných špiček potenciálu, v časech přibližně 9:11, dále v 9:40, v 9:45, v 9:57, v 10:23 a v 10:45 hodin.

Záporný potenciál koleje znamená, že zem je kladnější než kolej a tedy, že bludné proudy se v této oblasti vracejí zpět do trakčních kolejnic. Při výstupu bludných proudů z úložných zařízení jsou tato ohrožena elektrochemickou korozí. Jedna z vedlejších kolejí ve stanici je silně znečištěná, což je vidět z fotografie na obrázku 29. Izolovaný styk tak i v případě že je funkční nemůže plnit svou funkci. Znečištěná kolej výrazně snižuje přechodový odpor koleje proti zemi, což usnadňuje návrat bludných proudů zpět do kolejnic.

Také bylo zjištěno, že jedna z trakčních bran je přímo ukolejněná. To snižuje přechodový odpor kolejí proti zemi velmi výrazně. Trakční stožáry a kovové konstrukce se musí ukolejňovat přes průrazky, aby tyto kovové konstrukce neplnily úlohu zemniče kolejnic (viz kapitola 4.1.1.1).



Obr. 29. Pohled na znečištěnou vedlejší kolej s izolovaným stykem

I přes uvedené nedostatky – znečištěná vedlejší kolej a přímé ukolejnění trakční brány – jsou plynovodní potrubí ve sledované oblasti ve většině případů dobře katodicky chráněny. To dokazují naměřené průběhy potenciálů a histogramy sestavené z naměřených hodnot.

6 Závěr

Ze změřeného průběhu potenciálu v koleji je patrné, že se skutečně jedná o anodickou oblast a tudíž zde může docházet ke korozi. Z naměřených hodnot potenciálu plynovodních přípojek ale vyplývá, že jsou poměrně dobře katodicky chráněny. V jednom případě bylo potrubí z větší části ovšem jen částečně katodicky chráněno. Ve velmi malé míře docházelo k přechránění. Velmi závažným nedostatkem je ovšem znečištěná vedlejší kolej a přímé ukolejnění trakční brány. To velmi snižuje hodnotu přechodového odporu kolejí proti zemi a usnadňuje tak návrat bludných proudů ze země (a tím i z potrubí) zpět do trakčních kolejnic. Tím se zvyšuje riziko koroze, podmínky pro dobrou činnost katodické ochrany se zhoršují a zvyšuje se spotřeba ochranného proudu. To s sebou nese nejen větší riziko koroze, ale také zvýšení provozních nákladů na provoz stanice katodické ochrany.

Jako řešení této situace je nutné vyčistit znečištěnou vedlejší kolej a izolační styk tak, aby tento izolační styk mohl opět plnit svou funkci a přechodový odpor kolejí proti zemi zůstal na požadované, dostatečně vysoké, hodnotě. Také přímé ukolejnění trakční brány je nutné zaměnit za ukolejnění přes průrazku s opakovatelnou funkcí. Po těchto úpravách je nutno znovu změřit potenciály potrubí i koleje a porovnat je s již naměřenými hodnotami a posoudit, zda došlo ke zlepšení situace. Dále by bylo vhodné po vyčištění vedlejší koleje a výměně průrazky provést měření přechodového odporu kolejí proti zemi. Tím by bylo zjištěno, zda přechodový odpor odpovídá požadavkům normy.

Závěrem je možno říci, že elektrochemická koroze je nebezpečným jevem a to jak z hlediska efektivního provozu úložných zařízení, tak z bezpečnostního a ekonomického hlediska. Odhady velikosti ztrát způsobených korozi se pohybují v jednotkách miliard Kč. Proto je důležité aby všichni zúčastnění (jak České dráhy a majitelé městských drah jakožto původci bludných proudů, tak vlastníci potrubí a ostatních úložných zařízení) nepodceňovali nebezpečí elektrochemické koroze a důležitost katodické ochrany. Mnoho příkladů z praxe ukazuje jak je katodická ochrana efektivní a umožňuje mnohonásobně zvýšit životnost úložných zařízení, které by jinak bylo nutné po poměrně krátké době velmi nákladně opravovat či rekonstruovat.

U nových potrubí je výhodné v maximální míře využívat nevodivých plastových materiálů a tam kde to není možné využívat kvalitní izolace a dbát na pečlivé ukládání a zahazování potrubí aby se zamezilo poškození izolace. U stávajících úložných zařízení je nutné používat aktivní ochranu a tím poruchy způsobené korozi minimalizovat.

Seznam literatury:

- ADAM, Jaroslav, CHRÁSKOVÁ, Jaroslava. Korozní působení střídavých bludných proudů na kovové kabelové obaly. *Železniční technika: Dvuměsíčník pro otázky rozvoje železnic*. 1987, svazek 17, č. 4, s. 172-173. ISSN 0322-7952.
- BADOUČEK, Jiří. Zkušenosti s ochranou před bludnými proudy v městě Brně. In *Protikorozi ochrana podzemních kovových konstrukcí v zastavěných oblastech – projektování a výstavba*. Tábor: Dům techniky ČSTV České Budějovice, 1983. Kapitola 12.
- BOUBELA, Lubomír. Negativní vliv některých izolačních systémů na efektivnost katodické ochrany. In *Zkušenosti z aplikace elektrochemické protikorozi ochrany v ČSSR*. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS České Budějovice 1985. Kapitola 8.
- BOUDA, Václav, MACH, Pavel, PETR, Jiří, ŠTUPL, Karel. *Vlastnosti a technologie materiálů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 222 s. ISBN 80-01-00976-9.
- ČERNÝ, Miroslav. Katodická ochrana ocelových zařízení a konstrukcí proti korozi. Praha: Vydavatelství ROH – PRÁCE, 1957. 25 s.
- ČSN EN 12954. *Katodická ochrana kovových zařízení uložených v půdě nebo ve vodě – Všeobecné zásady a aplikace na potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 32 s. Třídící znak 03 8355.
- ČSN EN 50122-2 ed. 2. *Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Elektrická bezpečnost, uzemnění a zpětný obvod – Část 2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů DC trakčních soustav*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 28 s. Třídící znak 34 1520.
- FRANZ, Ferinand. Proudová hustota – podklad pro posuzování korozního ohrožení ocelových potrubí střídavými proudy. *Plyn*. 1997, roč. LXXVII, č. 3, s. 54-55. ISSN 0032-1761.
- GRUNTORÁD, Jan. Vliv magnetosféry na životní prostředí. *Geologický průzkum: Technický a hospodářský měsíčník ministerstva hospodářství ČR*. 1993, roč. 35, č. 11-12. ISSN 0016-772X. Dostupný také z [www: http://www.geolog.cz/odborne_clanky/Gruntorad_Magnetosfera.pdf](http://www.geolog.cz/odborne_clanky/Gruntorad_Magnetosfera.pdf)
- HORÁK, Karel, a kolektiv. *Napájení elektrizovaných železnic (Elektroenergetika)*. 1. vydání, Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1989. 220 s.
- CHRÁSKOVÁ, Jaroslava. Protikorozi ochrana v zemi uložených sdělovacích kabelů s kovovými obaly. In *Protikorozi ochrana podzemních kovových konstrukcí v zastavěných oblastech – projektování a výstavba*. Tábor: Dům techniky ČSVTS České Budějovice, 1983. Kapitola 6.
- JANOTKA, P., PALEČEK, J., POKORNÝ, M. *Elektrotechnika III*. 1. vydání, Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1987. 192 s.
- JANSÁ, František, PELEŇSKÝ, Štěpán. *Napájení elektrických drah III*. 2. vydání, Bratislava: Alfa – vydavatelství technické a ekonomické literatury, 1982. 199 s.

- JERŠOV, I. M. *Ochrana úložných kabelů před korosí bludnými elektrickými proudy*. Praha: Dopravní nakladatelství, 1956. 79s. Přel. z: *Zasčita podzemnych kabelej ot elektrokorrozii*. Moskva: Transželdorizdat, 1953.
- KOSTADINOV, Dečo. *Ochrana sdělovacích kabelů před korozí*. 1. vydání., Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1983. 285 s.
- KOUDELKA, Ctirad. *Bludné proudy* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Katedra obecné elektrotechniky, prosinec 2003 [citováno 2011-10-31]. Dostupný z www: http://fe1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne_proudy.pdf
- LAHOVSKÝ, Jaroslav. Zkušenosti z oprav a provozu usměrňovačů katodické ochrany. In *Zkušenosti z aplikace elektrochemické protikoroze ochrany v ČSSR*. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS České Budějovice, 1985. Kapitola 14.
- LANÍČEK, Ivo, MATOUŠ, Jan, ČERNOVSKÝ, Karel. Ochrana úložných zařízení před negativními účinky bludných proudů. *Vědeckotechnický sborník ČD*. Praha: Generální ředitelství Českých drah, 1997, Číslo 3, s. 77-92. vychází zpravidla 2x ročně. ISSN 1214-9047. Dostupný z www: <http://www.cdmail.cz/vts/CLANKY/306.pdf>
- MAŠÍN, Jan, VÁLEK, Rostislav. Přehled užití geofyziky pro geology. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1963. 316 s.
- MATOUŠ, Jan. *Problematika drenážování na koridorových tratích* [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2012-2-13]. Dostupný z www: <http://www.ateko.info/download/2009/matous.pdf>
- MÍČKO, František. Ochrana kovových úložných zařízení proti bludným proudům v Ostravské aglomeraci. In *Zkušenosti z aplikace elektrochemické protikoroze ochrany v ČSSR*. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS České Budějovice, 1985. Kapitola 13.
- MÍČKO, František. *Katodická ochrana místních rozvodů* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2011-12-29]. Dostupný z www: <http://www.ateko.info/download/2008/micko1.pdf>
- MÍČKO, František. *Použití automaticky řízených saturací k účinné ochraně proti bludným proudům* [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2012-03-21]. Dostupný z www: <http://www.ateko.info/download/2009/micko2.pdf>
- MRÁZEK, Josef. Společná ochrana proti bludným proudům v lokalitě „Střední Čechy“. In *Zkušenosti z aplikace elektrochemické protikoroze ochrany v ČSSR*. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS České Budějovice, 1985. Kapitola 11.
- NOVÁK, Pavel, a kolektiv. *Korozní inženýrství* [online]. Praha: Vysoká škola chemicko – technologická v Praze, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství, 2002 [cit. 2011-11-10]. Dostupný z www: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/index.htm
- NOVÁK, Pavel. Druhy koroze kovů. *Koroze a ochrana materiálu*. 2005, roč. 49, č. 4, s. 75-72. ISSN 0452-599X. Dostupný také z www: <http://www.casopis-koroze.cz/>

- NOVOTNÝ, Tomáš, RADA, Pavel. Korozní průzkum s přístrojem Korodat. *Plyn.* 1992, roč. LXXII, č. 7, s. 193-195. ISSN 0032-1761.
- NOVOTNÝ, Tomáš, RADA, Pavel. Použití systému Korodat při korozním průzkumu. *Plyn.* 1993, roč. LXXIII, č. 8, s. 227-240. ISSN 0032-1761.
- NOVOTNÝ, Tomáš, RADA, Pavel. *Systém Korodat – 4* [online]. Ostrava, 1995 [cit. 2012-03-31]. Dostupný z [www: http://www.ateko.info/download/1995/PřednáškaNovotný.Rada.pdf](http://www.ateko.info/download/1995/PřednáškaNovotný.Rada.pdf)
- PALEČEK, Josef. *Zemní proudová pole v okolí elektrizovaných tratí* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2006 [cit. 2011-10-31]. Dostupný z [www: http://www.ateko.info/download/2006/palecek.pdf](http://www.ateko.info/download/2006/palecek.pdf)
- POLÁK, Josef, VELETA, Pavel. Rukověť katodické protikorozi ochrany. Praha: Český plynárenský svaz, 2002. ISBN 3-527-29586-0.
- POLÁK, Josef. Katodická protikorozi ochrana a způsoby snižování koroze bludnými proudy. Praha: Chemoprojekt, 1992. 614 s.
- SOBOLÍČOVÁ, R., ŠPAČEK, A., POLÁK, J. *Ochrana ocelovej výstuže betónu proti korózii a agresívnom prostredí a proti účinkom bludných prúdov*. 1. vydanie, Bratislava: Výzkumný ústav inžinierskych stavieb, 1985. 68 s.
- *Technický naučný slovník, 1. díl A-D*. 2. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1981. 480 s.
- *Technický naučný slovník, 2. díl E-I*. 2. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1982. 480 s.
- TUHOVČÁK, Ladislav. Trubní materiály a jejich hodnocení z hlediska koroze. In *Příčiny koroze a protikorozi ochrana vodovodního potrubí a armatur: Sborník z mezinárodního odborného semináře, Brno 7. 2. 2002*. Editor: Ladislav Tuhovčák. Brno: CERM, 2002. s. 4-9. ISBN 80-7204-227-0.
- VELETA, Pavel, ČLUPEK Otakar, DAVIDOVÁ, Helena, FRANZ, Ferdinand. Protikorozi ochrana. In *Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě*. Praha: GAS s. r. o., 1997. Kapitola 12. ISBN 80-902339-6-1.
- VELETA, Pavel, FRANZ, Ferdinand. Vliv střídavého proudu na stimulaci koroze ocelových potrubí. *Plyn.* 1993, roč. LXXIII, č. 7, s. 210-213. ISSN 0032-1761.
- VIKTORIN, Jan. *Ochrana úložných kabelů před korozi způsobovanou elektrickou trakci*. 1. vydání, Praha: Dopravní nakladatelství, 1960. 80 s.
- VIKTORIN, Jan. *Vlivy elektrických trakčních systémů na sdělovací a zabezpečovací zařízení*. 1. vydání, Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1971. 232 s.
- VIKTORIN, Jan. *Průrazka*. Česká republika, Úřad pro patenty a vynálezy. Patentní spis, 99093. Vydáno 15. 3. 1961.
- Vyhláška Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb., účinná od 1.12.1995